



Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació

Treball Final de Grau

Grau en Enginyeria Agrària i Alimentària
Departament d'Enginyeria Agroforestal

Autora: Helena Camats Terré

Tutor: Jaume Arnó Satorra

Cotutor: Jordi Llorens Calveras

Data: Lleida, juny de 2020

Treball final de grau desenvolupat gràcies al Projecte PAgFRUIT: *Tecnologías de agricultura de precisión para optimizar el manejo del dosel foliar y la protección fitosanitaria sostenible en plantaciones frutales* del Programa Estatal I+D+i Orientada a los Restos de la Sociedad i finançat pel Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

Referència del Projecte: RTI2018-094222-B-I00

L'agricultura no és, en veritat un negoci, és una ocupació.

Arthur Smith Woodward,
Paleontòleg (1864-1944).

Agraïments

Aquest treball no hagués estat possible sense l'ajuda i col·laboració de:

- ❖ El meu tutor, Jaume Arnó, i cotutor, Jordi Llorens, per proposar-me la temàtica del treball, i també, per la seva implicació, ajudar-me i guiar-me en tot moment.
- ❖ El Grup de Recerca en AgròTICa i Agricultura de Precisió per l'ajuda en la presa de dades al camp.
- ❖ El Marc Majós, pel seu suport en l'anglès.
- ❖ La meva família, que m'ha donat ànims.

Resum

El treball experimental titulat “Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d’una plantació d’ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació”, ha consistit en analitzar i caracteritzar els paràmetres vegetatius d’una plantació d’ametllers en dos moments diferents del cicle vegetatiu del cultiu.

Per poder estudiar aquesta caracterització, primerament, s’ha realitzat l’adquisició de dades al camp a través del sensor LiDAR Velodyne VLP-16. Les dades obtingudes (núvol de punts 3D) han estat processades mitjançant la utilització de diferents programaris. L’extracció de paràmetres de la vegetació s’ha realitzat amb el programari RStudio, aplicant un codi prèviament desenvolupat pel Grup de Recerca en Agricultura de Precisió (GRAP) de la Universitat de Lleida. L’extracció d’informació procedent d’aquest núvol de punts 3D ha permès obtenir cinc paràmetres diferents, tant geomètrics (altura dels arbres, amplada del dosser foliar, secció transversal del dosser), com estructurals (porositats del dosser per un i altre costat de la filera). A més, els paràmetres esmentats s’han calculat en base a tres resolucions espacials diferents, depenent de la longitud de filera que representaven (0,10 m, 0,25 m i 0,50 m).

En una segona part de l’estudi, les tres resolucions de fenotipat de la plantació s’han avaluat mitjançant l’obtenció i comparació dels mapes dels diferents paràmetres vegetatius. Un cop aplicat un mètode geoestadístic d’interpolació espacial (*kriging*), els mapes de superfície obtinguts s’han comparat píxel a píxel (*cell-by-cell comparison*), mesurant el grau de concordança entre mapes a través del coeficient kappa (prèvia categorització dels mapes en classes o quantils). Prenent com a referència el mapa de major resolució espacial (0,10 m), els mapes han mostrat diferència quantitatives significatives segons la resolució utilitzada. No obstant, el patró de distribució ha estat molt similar independentment de la resolució, fet que s’ha posat de manifest quan es comparen mapes categòrics o classificats, és a dir, quan es compara, no tant la magnitud del paràmetre, sinó la localització espacial de les classes (dues o tres), obtingudes aplicant una anàlisi clúster sobre els mapes originals. Aquest resultat s’ha comprovat especialment en paràmetres geomètrics com, per exemple, la secció transversal de dosser foliar. Fruit d’aquesta concordança espacial, es poden construir models lineals per estimar paràmetres a major resolució (0,10 m i 0,25 m) a partir dels mapes obtinguts a menor resolució (0,50 m). Aquesta possibilitat es valora molt positivament perquè permet agilitzar el procés d’adquisició i processat de les dades de sensors LiDAR terrestres aplicats en fructicultura.

Paraules clau: sensor LiDAR, núvol de punts, resolució d'escaneig, kriging, comparació de mapes, ametller.

Resumen

El Trabajo experimental titulado Fenotipaje mediante un sensor LiDAR terrestre de una plantación de almendros sujeta a un ensayo experimental de fertirrigación mediante el uso de un sensor LiDAR terrestre, ha consistido en analizar y caracterizar los parámetros vegetativos de una plantación de almendros en dos momentos diferentes del ciclo vegetativo del cultivo.

Para poder estudiar esta caracterización ha sido necesario realizar la adquisición de datos en el campo a través del sensor LiDAR Velodyne VLP-16. Los datos obtenidos (nube de puntos 3D) han estado procesados mediante la utilización de diferentes softwares. La extracción de parámetros de la vegetación se ha realizado con el software RStudio, aplicando un código previamente desarrollado por *el Grup de Recerca en Agricultura de Precisió (GRAP) de la Universitat de Lleida*. La extracción de información procedente de esta nube de puntos 3D ha permitido obtener cinco parámetros diferentes, tanto geométricos (altura de los árboles, anchura del dosel foliar, sección transversal del dosel), como estructurales (porosidades del dosel foliar a un lado y otro de la hilera). Además, los parámetros mencionados se han calculado en base a tres resoluciones espaciales diferentes, dependiendo de la longitud de hilera que representaban (0,10 m, 0,25 m i 0,50 m).

En una segunda parte del estudio, las tres resoluciones de fenotipado de la plantación han estado evaluadas mediante la obtención y comparación de los mapas de los diferentes parámetros vegetativos. Habiendo utilizado un método geoestadístico de interpolación espacial (*kriging*), los mapas de superficie obtenidos han estado comparados píxel a píxel (*cell-by-cell comparison*) midiendo el grado de concordancia entre mapas a través del coeficiente kappa (previa categorización de los mapas en clases o cuantiles). Tomando como referencia el mapa de mayor resolución espacial (0,10 m), los mapas han mostrado diferencias cuantitativas significativas según la resolución utilizada. No obstante, el patrón de distribución ha estado muy similar independiente de la resolución, lo que se ha puesto de manifiesto cuando se comparan mapas categóricos o clasificados, es decir, cuando se comparan, no tanto la magnitud del parámetro, sino la localización espacial de las clases (dos o tres) obtenidas aplicando un análisis clúster sobre los mapas originales. Este resultado se ha comprobado especialmente en parámetros geométricos como, por ejemplo, la sección transversal del dosel foliar. Fruto de esta concordancia espacial, es posible construir modelos lineales que permitan estimar parámetros a mayor resolución (0,10 m y 0,25 m) a partir de mapas obtenidos a menor resolución (0,50 m). Esta posibilidad se valora

muy positivamente, ya que permite agilizar el proceso de adquisición y proceso de los datos de sensores LiDAR terrestres aplicados en fruticultura.

Palabras clave: sensor LiDAR, nube de puntos, resolución, kriging, comparación de mapas.

Abstract

The experimental work entitled Phenotyping by a terrestrial LiDAR sensor of an almond plantation undergoing an experimental fertigation test, has consisted in analysing and characterizing the vegetative parameters of an almond tree plantation in two different moments of the vegetative cycle of the crop.

In order to study this characterization, firstly, it has been necessary to perform data acquisition in the countryside through the Velodyne VLP-16 LiDAR sensor. The obtained data (point cloud 3D) have been processed through the use of different softwares. The extraction of vegetation parameters has been performed with the RStudio software, applying a code previously developed by the “Grup de Recerca en Agricultura de Precisió (GRAP)” of the University of Lleida. The extraction of information from the point cloud (3D) has enabled five different parameters to be obtained, both geometric (height of the trees, width of the foliar canopy and cross section of the canopy) and structural (porosities of the foliar canopy on either side of the row). Moreover, the above-mentioned parameters have been calculated based on three different resolutions, depending on the row length they represented (0,10 m, 0,25 m and 0,50 m).

Secondly, the three phenotyping resolutions of the plantation have been evaluated by obtaining and comparing the maps of different vegetative parameters. Having used a geostatistical method of spatial interpolation (kriging), the surface maps obtained have been compared pixel by pixel (cell-by-cell comparison), by measuring the degree of concordance between maps through the kappa coefficient (after categorization the maps into classes or quantiles). Taking as a reference the map with the highest spatial resolution (0,10 m), the maps have shown significant quantitative differences according to the resolution used. However, the distribution pattern has been very similar regardless of the resolution, which has become evident when comparing categorical or classified maps, that is, when comparing, not so much the magnitude of the parameter, but the spatial locations of the classes (two or three) obtained by applying a cluster analysis on the original maps. This result has been verified, especially, in geometrical parameters such as the cross section of the canopy. As a result of this spatial concordance, it is possible to build linear models that allow for estimation of parameters at higher resolution (0,10 m and 0,25 m) from maps obtained at lower resolution. This possibility is valued very positively, since it allows to speed up the acquisition and processing of data from terrestrial LiDAR sensors applied in fruit farming.

Keywords: LiDAR sensor, point cloud, scan resolution, kriging, comparison of maps, almond.

ÍNDEX

Índex de figures.....	II
Índex de taules.....	IV
1. Introducció	1
2. Antecedents i objectius	3
3. Material i mètodes	5
3.1. Àrea d'estudi.....	5
3.2. Material utilitzat a camp.....	7
3.3. Sensor LiDAR (<i>Light Detection and Ranging</i>).....	9
3.4. Plataforma automotriu	11
3.5. Ordinadors.....	12
3.5.1. Captura de dades de posicionament.....	13
3.6. Adquisició i processament de dades.....	14
3.7. Programació i codi R: obtenció de paràmetres	16
3.8. Mapat i anàlisi espacial dels paràmetres LiDAR.....	23
3.8.1. Programari VESPER	23
3.9. Optimització de la resolució d'obtenció dels paràmetres LiDAR: anàlisi comparativa de mapes.....	29
3.9.1. Programari Map Comparison Kit (MCK).....	29
3.10. Classificació de mapes: algorisme de <i>k</i> -mitjanes.....	33
3.11. Anàlisi de la variància en mapes classificats (ANOVA)	35
3.12. Modelització i validació de mapes	36
4. Resultats i discussió.....	38
4.1. Descripció dels fitxers obtinguts amb el programari Cloud Compare	38
4.2. Mapat dels paràmetres vegetació obtinguts amb el sensor LiDAR. Interpretació	40
4.3. Anàlisi comparativa de mapes.....	46
4.4. Anàlisi clúster i comparació de mapes classificats.....	52
4.5. Anàlisi de la variància i patró de distribució	55
4.6. Modelització de mapes a diferents resolucions.....	57
5. Impacte a curt i mig termini de la tecnologia LiDAR en el sector frutícola.....	63
6. Conclusions	65
7. Bibliografia	67
8. Annexos.....	69
8.1. Codi R.....	69
8.1.1. Codi R: Obtenció de paràmetres vegetatius	69
8.1.2. Codi R: Obtenció d'un únic fitxer	79
8.2. Mapes.....	80
8.3. Algorisme de <i>k</i> -mitjanes	123

Índex de figures

Figura 1: Cicle de l'Agricultura de Precisió.....	1
Figura 2: Localització de l'àrea d'estudi i identificació de les files on s'ha realitzat l'estudi.....	5
Figura 3: Esquema del material utilitzat en els escanejos de camp.	8
Figura 4: Sensor Velodyne LiDAR (VLP-16).....	9
Figura 5: Visió horitzontal de 360° i visió vertical de +15° i -15° del sensor Velodyne LiDAR (VLP-16).....	10
Figura 6: Esquema del funcionament del sensor LiDAR.	10
Figura 7: Parts de la plataforma automotriu i elements que es col·loquen sobre la plataforma durant l'escaneig a camp	11
Figura 8: Estació de referència, receptor GNSS (rover) i sensor Velodyne LiDAR.....	13
Figura 9: Files i carrers de l'àrea d'estudi.	14
Figura 10: Visualització del núvol del punts en 3D al Cloud Compare.....	15
Figura 11: Esquema dels programaris utilitzats	15
Figura 12: Diagrama de flux realitzat amb RStudio	16
Figura 13: Exemple d'un arxiu d'entrada, en format text, obtingut amb el Cloud Compare.	17
Figura 14: Anàlisi de caixes a les resolucions de 0,10 m; 0,25 m i 0,50 m.....	18
Figura 15: Exemple d'anàlisi de la porositat dreta i esquerra.	20
Figura 16: Exemple d'anàlisi de l'alçada màxima, l'amplada mitjana màxima i la secció transversal.....	21
Figura 17: Estructura dels fitxers obtinguts amb RStudio.....	21
Figura 18: Expressió amb la que es guardaven els arxius perquè el codi R els pogués analitzar.	22
Figura 19: Entrada i sortida de dades en el software VESPER	23
Figura 20: Models de variograma.....	24
Figura 21: Exemple de l'ajust del semivariograma amb el software VESPER	26
Figura 22: Configuració dels diferents paràmetres per realitzar el kriging amb el software VESPER	27
Figura 23: Block kriging amb una grandària de píxel d' 1 m.....	27
Figura 24: Conversió de l'arxiu de sortida.....	28
Figura 25: Entrada de dades al programari MCK	29
Figura 26: Edició de la llegenda en el programari MCK	31
Figura 27: Coeficients kappa, KHisto i KLocation	32
Figura 28: Exemple del procés de classificació en tres classes amb JMP.....	33
Figura 29: Comparació dels conglomerats dos a dos.....	34
Figura 30: Exemple coeficient de concordança kappa	35
Figura 31: Exemple de dades classificades de secció transversal per a una resolució de 0,10 m	36
Figura 32: Mapes dels diferents paràmetres vegetatius a les resolucions de 0,10 m; 0,25 m i 0,50 m (22/06/2019)	42

Figura 33: Mapes dels diferents paràmetres vegetatius a les resolucions de 0,10 m; 0,25 m i 0,50 m (20/09/2019)	43
Figura 34: Comparació dels diferents paràmetres vegetatius a les resolucions de 0,10 m; 0,25 m i 0,50 m (22/06/2019)	48
Figura 35: Comparació dels diferents paràmetres vegetatius a les resolucions de 0,10 m; 0,25 m i 0,50 m (20/09/2019)	51
Figura 36: Classificació del paràmetre secció transversal en dues i tres classes.....	54
Figura 37: Anàlisi de regressió per a mapes a diferents resolucions de processament LiDAR.....	60
Figura 38: Rectes obtingudes a diferents resolucions de processament LiDAR.....	61
Figura 39: Obtenció de mapes a partir de les resolucions originals de 0,25 i 0,50 m.....	62

Índex de taules

Taula 1: Característiques del sensor Velodyne LiDAR VLP-16.	9
Taula 2: Exemple per escollir el mínim i el màxim de les tres resolucions	30
Taula 3: Escala de valoració del coeficient kappa.....	32
Taula 4: Fitxers obtinguts amb el programari Cloud Compare (22/06/2019)	38
Taula 5: Fitxers obtinguts amb el programari Cloud Compare (20/09/2019)	39
Taula 6: Model de variograma utilitzat i valors dels paràmetres C_0 , C_1 i A_1 a les diferents resolucions d'estudi del primer i del segon escaneig.....	44
Taula 7: Valors del coeficients kappa, KHisto i KLocation obtinguts al comparar les resolucions dos a dos del primer i del segon escaneig.....	49
Taula 8: Valors del coeficient kappa. Classificació en dues classes.....	53
Taula 9: Valors del coeficient kappa. Classificació en tres classes	53
Taula 10: Mitjana de classes de la secció transversal, en una classificació en dues classes (C_1 i C_2 m ²) a les resolucions d'estudi (0,10 m; 0,25 m i 0,50 m).....	53
Taula 11: Mitjana de classes de la secció transversal, en una classificació en tres classes (C_1 , C_2 i C_3 m ²) a les resolucions d'estudi (0,10 m; 0,25 m i 0,50 m)	53
Taula 12: Anàlisi de la variància en una classificació en dues classes.....	56
Taula 13: Anàlisi de la variància en una classificació en tres classes.	56
Taula 14: Contrast del pendent per a l'estimació del paràmetre vegetatiu secció transversal ..	58

1. Introducció

L'Agricultura de Precisió (AP) és una estratègia de maneig que recull, processa i analitza dades temporals, espacials i individuals i les combina amb altres informacions per recolzar decisions de maneig d'acord amb la variabilitat estimada, i així millorar l'eficiència en l'ús de recursos, la productivitat, la qualitat, la rendibilitat i la sostenibilitat de la producció agrícola («Definició de precisió Ag», s.d.), (International Society of Precision Agriculture - ISPA, abril 2020, <https://www.ispag.org/>).

Aquest tipus d'agricultura va néixer als Estats Units durant els anys 80, però quan ha crescut la seva aplicació ha estat els darrers anys amb l'aparició de les noves tecnologies (GPS, drons, sensors...). L'Agricultura de Precisió consta d'un cicle format per quatre etapes (**Figura 1**). La primera etapa consisteix en l'**adquisició de dades** mitjançant la tecnologia de la qual es disposa. Una vegada s'han registrat les dades, cal fer-ne l'**anàlisi**, tot extraient informació útil. Després d'extreure'n informació, es realitza la **presa de decisions**, que poden ser de caràcter preventiu o de gestió. La darrera etapa és la d'**actuació al camp**, per tal de veure si les aplicacions que s'han pres han estat encertades o cal modificar-les.



Figura 1: Cicle de l'Agricultura de Precisió. Font: Grup de Recerca en Agricultura de Precisió (GRAP). Universitat de Lleida

Un aspecte a destacar en l'Agricultura de Precisió és que cal dur a terme una bona caracterització de la vegetació (fenotipat), per tal de poder entendre la resposta que dona la vegetació davant de diferents estratègies de reg, fertilització o poda assajats, en el cas de cultius arboris, en esquemes de disseny experimental.

Des de fa uns anys, amb la finalitat de realitzar un bon fenotipat de la vegetació, s'utilitzen els escàners làser terrestres (MTLS, *Mobile Terrestrial Laser Scanners*) en aplicacions agrícoles. Aquests sensors permeten la detecció d'objectes mitjançant l'ús de dispositius làser, per així, estimar paràmetres vegetatius de diferents tipus de cultius. Els sensors LiDAR (*Light Detection and Ranging*) són dispositius òptics de percepció remota que permeten mesurar distàncies a través de l'emissió de rajos polsants de llum infraroja, de forma que, quan aquests rajos detecten un objecte, aquests es reflecteixen i són detectats novament pel sensor. El temps d'anada i de tornada (anomenat *Time-of-flight*) que el raig triga en recórrer l'espai entre el sensor i l'objecte permet calcular la distància recorreguda, i, si aquest procés es repeteix diverses vegades en diferents posicions i direccions, com a resultat, s'obté un núvol de punts 3D (punts on s'han produït impactes del raig làser amb la vegetació).

Els avantatges d'aquests tipus de sensors són la seva alta velocitat i precisió de mesura, per aquesta raó, els sensors LiDAR resulten ser un dels sistemes més utilitzats per a la caracterització geomètrica i estructural dels arbres i conreus (Rosell i Sanz, 2012).

Actualment, existeixen grups de recerca, com és el cas del grup AgròTICA i Agricultura de Precisió (GRAP) de la Universitat de Lleida (<http://www.grap.udl.cat/>), que treballen en el desenvolupament i l'aplicació dels escàners làser terrestres en agricultura. Entre les línies de recerca del GRAP, destaquen l'obtenció de paràmetres vegetatius (geomètrics i estructurals) a partir del procés del núvol de punts 3D generat amb sensors LiDAR. L'anàlisi de la variabilitat espacial d'aquests paràmetres en base al mapat de la informació i l'ús de procediments d'interpolació espacial és un altre dels objectius de la recerca actual. Una de les qüestions importants que queden pendents en aquest procés, és establir la resolució òptima d'adquisició i processament de les dades LiDAR, de tal manera que els mapes generats reproduïxin de manera fiable la variabilitat intraparcelsària del cultiu. Aquest és un punt clau per tal d'optimitzar tot el procés. A més, els mapes resultants han d'aportar una informació de valor que faci possible la interpretació adequada de la resposta del cultiu quan s'assagen diferents estratègies de reg, fertilització o conducció del dosser foliar en experimentacions sobre parcel·la (*on-farm experimentation*).

2. Antecedents i objectius

En els darrers anys, s'han realitzat diversos estudis utilitzant l'aplicació de la tecnologia LiDAR amb la finalitat d'estudiar la caracterització dels arbres fruiters i conreus.

El sistema LiDAR proporciona un núvol de punts 3D, d'alta densitat, que permet efectuar l'estudi qualitatiu i quantitatiu dels paràmetres geomètrics de les plantes (Rosell et al., 2009). Aquest model en 3D permet fer mesures sobre la vegetació escanejada obtenint paràmetres d'aquesta (Llorens et al., 2007). Cal destacar, que aquest sensor mesura les característiques geomètriques de les plantes amb una gran precisió (Rosell et al., 2009). Conseqüentment, aquest sensor s'ha convertit en un excel·lent dispositiu per quantificar, de forma fiable, les característiques geomètriques dels arbres (Rosell Polo et al., 2009; Sanz-Cortiella et al., 2011; Arnó et al., 2013).

La caracterització geomètrica dels cultius arboris és una activitat de precisió, que comporta una mesura i comprensió precisa de la geometria i l'estructura dels elements que formen els arbres (Sanz et al., 2013).

Per altra banda, aquesta tecnologia també permet estimar i predir el rendiment individual dels arbres. Underwood et al. (2016) van estimar la producció d'una plantació d'ametller mitjançant el mapat de les distribucions de les flors i els fruits dins la plantació. Tanmateix, també s'han dut a terme procediments, basats en el sensor LiDAR, per caracteritzar la vegetació de males herbes (Andújar et al., 2013), per mesurar la deriva durant la polvorització de plaguicides (Gregorio et al., 2014), i per millorar els mètodes d'aplicació dels productes fitosanitaris (Llorens et al., 2011).

L'altre aspecte a destacar és la realització de mapes a nivell de parcel·la (o subparcel·la), a partir de les dades (paràmetres vegetatius) mesurats amb el LiDAR. L'objectiu és observar quines diferències apareixen entre diferents paràmetres vegetatius i quina és la variabilitat existent dins la parcel·la o àrea estudiada. Així, per exemple, per tenir coneixement del nivell de variabilitat del sòl és necessari mostrejar-lo i mapar-lo (Arno et al., 2011). Cartografiar i quantificar aquesta variabilitat és molt important per millorar les decisions de gestió i les pràctiques agrícoles (del-Moral-Martínez et al., 2016).

Altrament, conèixer aquesta variabilitat i el seu patró de distribució espacial es pot portar a terme, mitjançant mètodes geoestadístics (kriging). Un cop mapats els paràmetres d'interès, l'aplicació posterior de mètodes de classificació (anàlisi clúster) permet delimitar zones potencials de maneig diferenciat dins les parcel·les o, fins i tot, a escales espacials més àmplies (finca o regió). Arnó et al. (2011) van realitzar mapes classificats

de collita, tenint en compte les zones de la parcel·la de més i menys producció, amb la finalitat d'obtenir el maneig zonal en un cultiu de vinya.

Vista la potencialitat dels sensors LiDAR per a la caracterització precisa de plantacions a alta resolució espacial, i donada la necessitat de mapar tota aquesta informació per fer-ne un ús agronòmic, aquest treball pretén conjugar ambdues tecnologies per a la caracterització fiable d'una plantació superintensiva d'ametller (sensor i adquisició de dades, per una banda, i mapat i anàlisi espacial de la informació, per l'altra)

L'objectiu principal és l'obtenció de diferents paràmetres geomètrics i estructurals que permetin caracteritzar la vegetació (dosser foliar) en ametller. La particularitat és que, la plantació a l'estar a diferents dosis i estratègies de fertirrigació (disseny experimental), es generen fonts de variació que possiblement acabin provocant variabilitat espacial en els paràmetres vegetatius mesurats amb el sensor LiDAR. Davant d'aquesta situació s'han previst dos escanejos en diferents moments del cicle, per tal d'assolir els objectius específics següents:

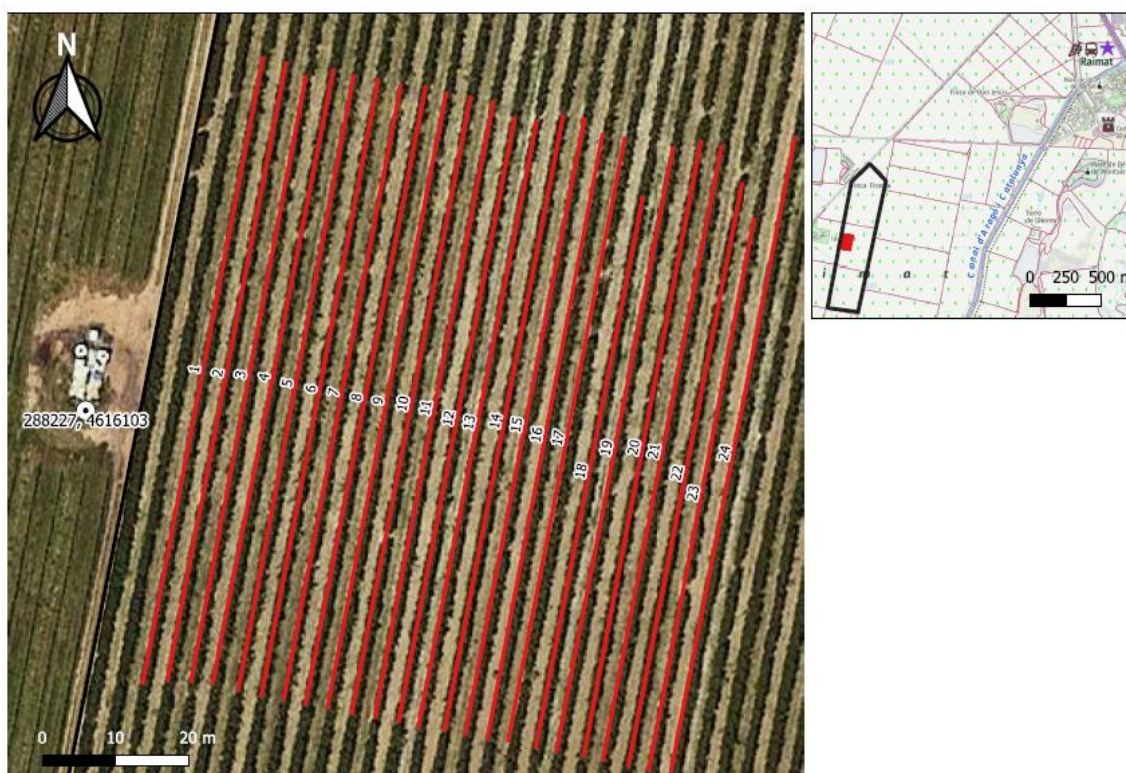
- i. Georeferenciació i obtenció de paràmetres vegetatius LiDAR a diferents resolucions longitudinals dins de la fila (0,10 m; 0,25 m i 0,50 m).
- ii. Mapat dels paràmetres LiDAR i anàlisi del patró de distribució espacial.
- iii. Avaluació comparativa de les tres resolucions en estudi.
- iv. Determinació de la resolució LiDAR que optimitzi el fenotipat en plantacions d'ametller i la modelització de mapes a diferents resolucions a partir d'una resolució inicial.

3. Materials i mètodes

3.1. Àrea d'estudi

L'àrea que s'ha escollit per a realitzar l'estudi s'anomena FINCA ALRASA i és troba situada a l'entitat municipal de Raïmat, a la comarca del Segrià i a la província de Lleida, amb coordenades ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0. Concretament, la zona d'estudi es troba al polígon 4, parcel·la 13 i recinte 10.

La parcel·la, on es realitza l'estudi, té una superfície total de 106,96 hectàrees, de les quals el recinte n'ocupa 22,46 ha. Per dur a terme la presa de dades s'han escanejat 0,70 ha de les anomenades anteriorment, ja que és on s'ha desenvolupat l'assaig de fertirrigació (**Figura 2** i veure Annex 8.2).



***Figura 2:** Localització de l'àrea d'estudi i identificació de les files on s'ha realitzat l'estudi*

A l'àrea d'estudi hi ha plantat cultiu d'ametller súper intensiu a un marc de plantació de 3,2 m entre files per 1,5 m entre arbres. La varietat i el portaempelt d'aquests ametllers són Lauranne Avijor (INRA francès, creuament Ferragnès per Tuono) i GF-677 (INRA francès, creuament préssec per ametller), respectivament. Aquesta parcel·la es va plantar l'hivern de 2016-2017.

L'estudi experimental s'ha realitzat en aquelles files que s'hi ha aplicat diferents dosis i estratègies de fertirrigació, concretament, en 24 files de la parcel·la, formades per 60-61 arbres cadascuna.

En aquesta parcel·la experimental s'hi han realitzat dos escanejos (presa de dades) amb el sensor LiDAR durant dos dies diferents, concretament, el 22 de juny i el 20 de setembre de 2019. Els escanejos s'han realitzat en l'estadi fenològic J (Fruit en evolució cap a la maduresa, segons Baggiolini). En el primer escaneig (22/06/2019), el fruit es trobava en els inicis d'aquest estat de maduració. En canvi, en el segon escaneig (20/09/2019) es trobava al final, ja que el fruit obria la seva escorça exterior, indicant que estava arribant a l'estat òptim de maduració. Cada escaneig s'ha realitzat a una velocitat aproximada de 2km/h.

3.2. Material utilitzat a camp

Per realitzar l'escaneig a camp mitjançant l'ús de la tecnologia LiDAR va ser necessari l'ús de diferents elements per dur a terme el procés correctament: plataforma automotriu, sensor LIDAR, dos ordinadors, estació de referència (base fixa) i equip mòbil (rover).

Per una banda, el sensor LiDAR i el seu receptor GNSS de poca precisió es van connectar a la caixa de connexions del sensor, i aquesta, a un ordinador portàtil, adequat per treballar en condicions de camp, mitjançant una interfície física de connexió *ethernet* RJ-45. Aquest receptor, que utilitza el sistema de navegació per satèl·lit, permetia conèixer la longitud, latitud i altitud amb un marge d'error elevat, mitjançant la utilització dels senyals ràdio dels satèl·lits.

Per altra banda, a un altre ordinador, també adequat per treballar en condicions de camp, hi havia connectada una antena que permetia estimar les coordenades UTM en temps real, gràcies a un sistema GNSS-RTK format per un rover i una base. Aquesta antena estava connectada a l'ordinador a través d'una interfície RS-232 (serial).

A més, cal destacar que també es disposava d'una estació de referència (base fixa) amb coordenades conegudes. Aquesta base funcionava com a sistema GNSS de correcció diferencial RTK.

A continuació, a la **Figura 3** es mostra un esquema del material utilitzat en els escanejos a camp, els quals més endavant s'explicaran amb més detall.

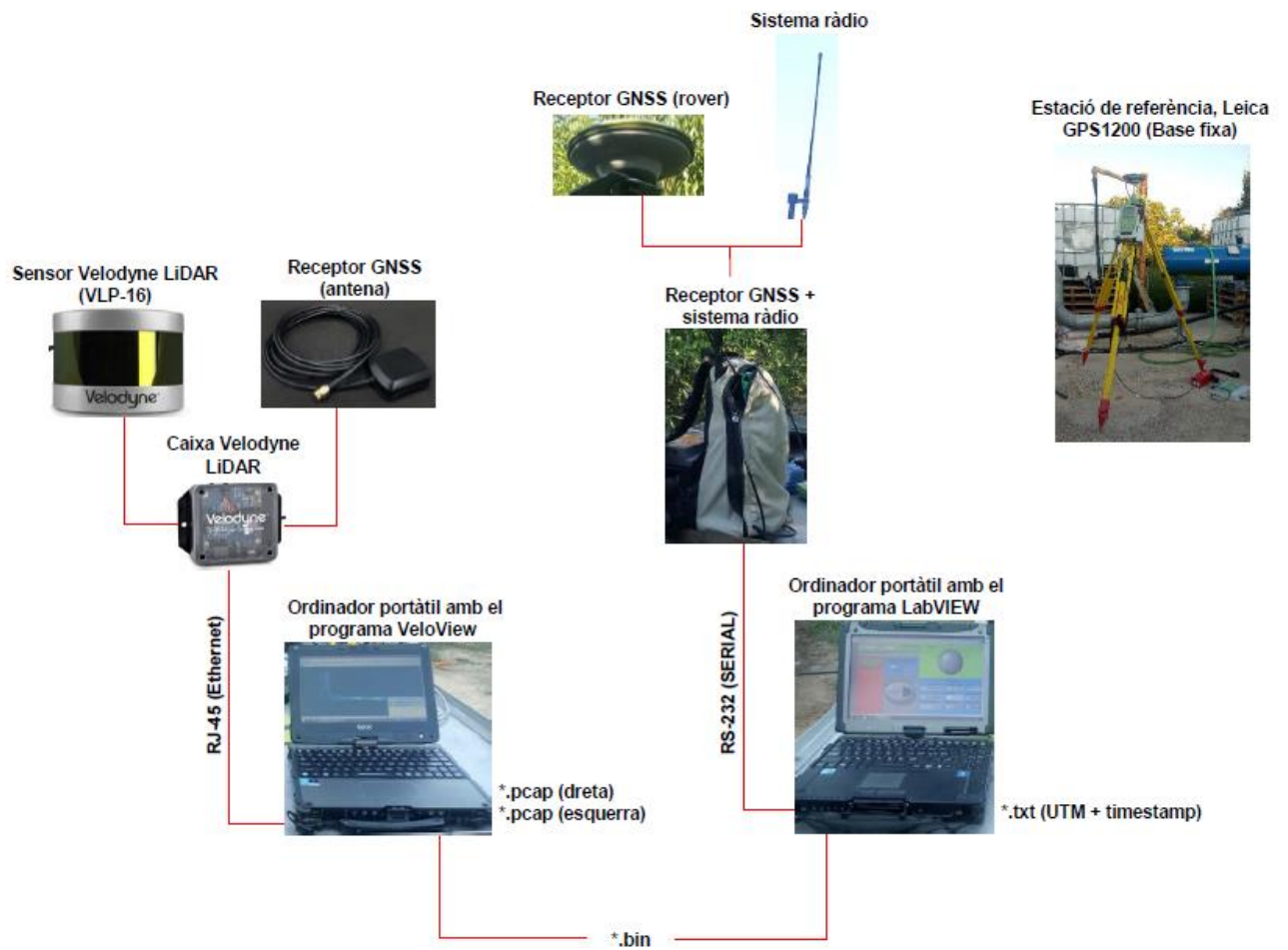


Figura 3: Esquema del material utilitzat en els escanejos de camp

3.3. Sensor LiDAR (*Light Detection and Ranging*)

Per dur a terme els dos escanejos es va utilitzar el sensor Velodyne LiDAR VLP-16 (VELODYNE LiDAR, Inc. San Jose, Califòrnia, USA). Aquest sensor d'alta gamma es caracteritza per realitzar mesures en tres dimensions a una velocitat d'entre 5-20 Hz i pot generar uns 300.000 punts per segon. A continuació, es mostren les característiques tècniques del sensor Velodyne LiDAR VLP-16 aportades pel fabricant (**Taula 1 i Figura 4**).

Taula 1: Característiques del sensor Velodyne LiDAR VLP-16

Característiques del sensor Velodyne LiDAR VLP-16	
Longitud d'ona de la llum emesa:	903 nm
Resolució angular (vertical):	2,0°
Resolució angular (horitzontal):	0,1-0,4°
Precisió:	± 3 cm
Pes:	830 g
Dimensions:	103 mm diàmetre x 72 mm altura
Temperatura d'operació:	-10 °C a +60 °C



Figura 4: Sensor Velodyne LiDAR (VLP-16)

Per altra banda, el sensor LiDAR té la capacitat d'emetre 16 feixos de llum infraroja en un camp de visió horitzontal de 360° i 30° en vertical, 15° amunt i -15° avall (**Figura 5**). El seu rang de mesura té una autonomia de 100 metres.

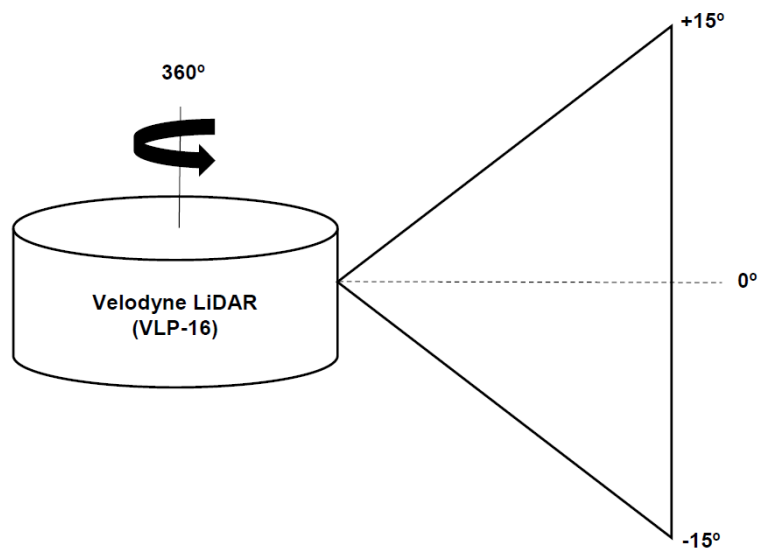


Figura 5: Visió horitzontal de 360° i visió vertical de +15° i -15° del sensor Velodyne LiDAR (VLP-16). Els rajos LiDAR s'enumeren del 0 al 15 per a un posterior processat

El sensor LiDAR, com ja s'ha explicat anteriorment, és un dispositiu òptic de percepció remota capaç de mesurar distàncies a través de l'emissió de rajos polsants de llum infraroja. D'aquesta forma, quan el raig topa amb un objecte, part d'aquest és reflectit i retorna al sensor. Així doncs, amb el temps d'anada i tornada del raig al sensor, i tenint en compte la velocitat de la llum es pot calcular la distància recorreguda (**Figura 6**).

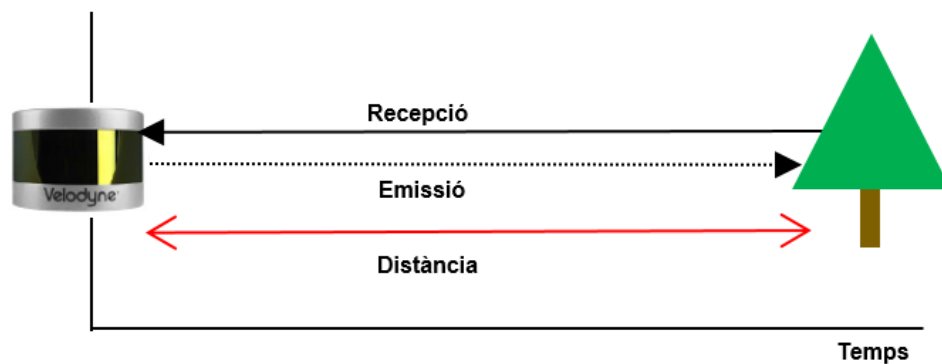


Figura 6: Esquema del funcionament del sensor LiDAR

3.4. Plataforma automotriu

La plataforma automotriu ha estat dissenyada pel grup de recerca GRAP-UdL. Aquesta plataforma permetia realitzar els escanejos a una velocitat aproximada de 2 km/h.

La plataforma estava formada per una base mecànica equipada amb bandes de goma tipus eruga i comptava amb un grup electrogen, variadors de freqüència, motors i un grup moto-reductor connectat al sistema de tracció (**Figura 7**). Per altra banda, gràcies a un comandament manual, es disposava d'un control independent de cada una de les erugues que permetia el moviment d'aquestes endavant i endarrere. Així doncs, fent anar una eruga endavant i l'altra enrere, s'aconseguia fer girar la plataforma.

Sobre la plataforma s'hi van col·locar els ordinadors i l'antena. A més, al màstil de la plataforma s'hi van instal·lar el sensor LiDAR Velodyne i l'antena GNSS amb correcció RTK. Aquesta última es va situar a la posició més alta del màstil, a una alçada de 2 metres i, el sensor LiDAR Velodyne a 1,75 metres, aproximadament. La distància entre l'antena GNSS i el sensor es va anotar per tal d'utilitzar-la com a constant en el procés de georeferenciació del núvol de punts.

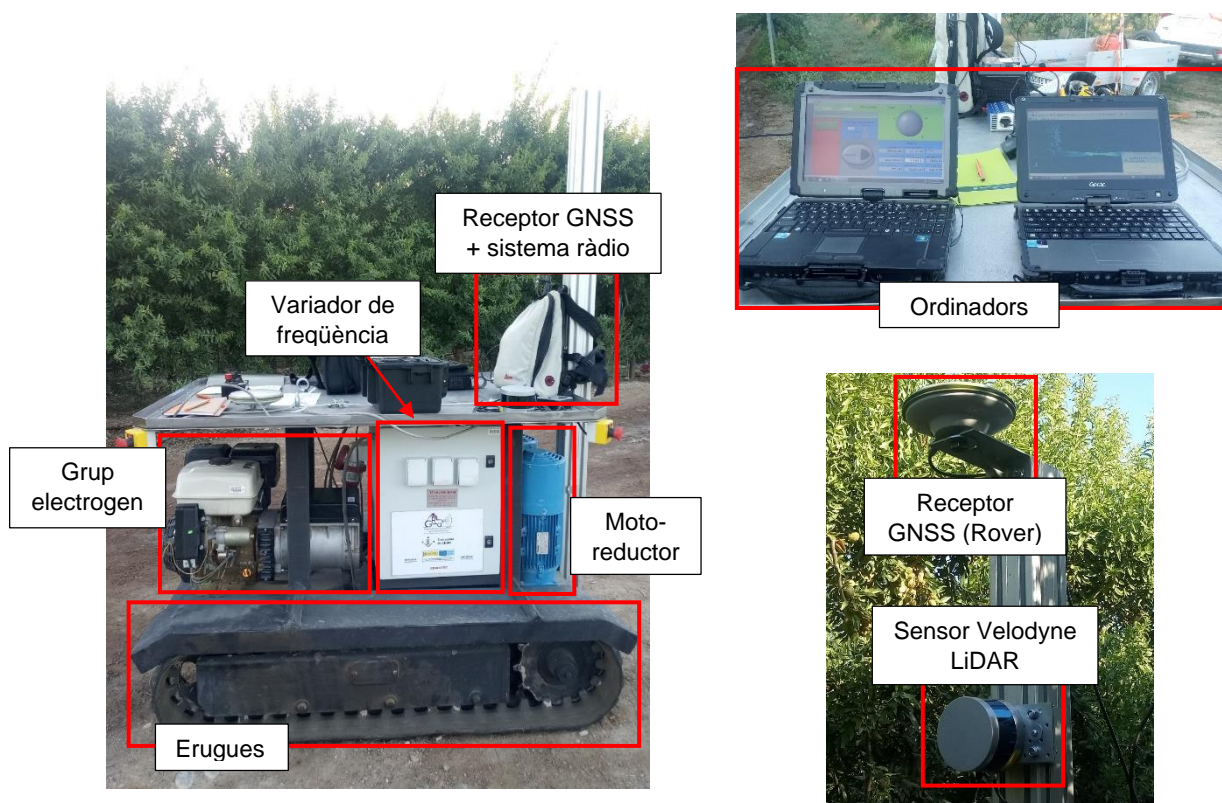


Figura 7: Parts de la plataforma automotriu i elements que es col·loquen sobre la plataforma durant l'escaneig a camp

3.5. Ordinadors

Els tipus d'ordinadors que es van utilitzar eren els adients per treballar en condicions de camp, és a dir, estaven dissenyats per suportar cops, caigudes, pols, vibracions, líquids, etc. Els models usats van ser el V110 i X500 de la marca *Getac*. El sistema operatiu que utilitzaven aquests ordinadors era el Windows 8.

Per una banda, en un ordinador es treballava amb el software LabVIEW (National Instruments, 1986, Austin, Texas, USA). El LabVIEW és un llenguatge de programació gràfica molt utilitzat en sistemes de control i automatització. A camp, mitjançant un programa realitzat pels membres del GRAP, el LabVIEW s'utilitzava per realitzar l'adquisició de les dades GNSS-RTK a temps real, és a dir, per conèixer la posició del sensor LiDAR en coordenades. Els fitxers que s'obtenien amb aquest software eren en format *.txt.

Per altra banda, l'altre ordinador utilitzava el programari VeloView (<https://www.paraview.org/veloview>), que permetia la visualització i la captura, a temps real, de dades LiDAR en 3D a partir del sensor Velodyne VLP-16.

Els fitxers enregistrats amb el VeloView s'emmagatzemaven en format *.pcap. Aquest format incloïa les dades obtingudes amb el sensor Velodyne LiDAR (núvol de punts) i les coordenades GNSS de poca precisió, juntament amb la informació del temps en el qual s'havia capturat cada un d'aquests punts LiDAR (timestamp). Aquesta variable va permetre, a posteriori, fer la georeferenciació precisa amb les dades de posicionament del sistema GNSS-RTK.

3.5.1. Captura de dades de posicionament

Per dur a terme la georeferenciació de les dades obtingudes en els escanejos es va utilitzar una estació de referència, concretament, l'equip Leica GPS1200, capaç de rebre senyals dels sistemes satel·litaris GPS (Global Positioning System, Estats Units d'Amèrica) i GLONASS (GLObal'naya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema, Rússia).

L'equip Leica GPS1200 disposava del sistema de correcció diferencial terrestre RTK-GNSS (Real-Time Kinematics), el qual estava format per dos receptors. Un receptor, anomenat base, era de posició fixa i per tant, les coordenades eren conegudes (ETRS89 31T 288227,73 m; 4616105,06 m; 282,409 m). En canvi, l'altre, l'antena del rover, estava col·locada al mànec de la plataforma automotriu a una distància de 0,3 metres del sensor LiDAR (**Figura 8**). Aquest equip s'estima que té una precisió de 2 cm.

Això, a posteriori, va permetre realitzar el procés de georeferenciació amb la finalitat d'agrupar les dades dels diferents ordinadors. Aquest procediment consistia en crear arxius de núvol de punts (format *.bin) a partir dels arxius en format text (*.txt) corresponents a les coordenades UTM i *timestamp* de cada posició del sistema GNSS-RTK i arxius del núvol de punts generats pel sensor LiDAR (format *.pcap) corresponents a l'escaneig de les dues bandes de la fila. Aquests arxius del sensor LiDAR contenen el valor *timestamp* de cada un dels punts capturats pel sensor.



Figura 8: Estació de referència (esquerra) i receptor GNSS (rover) i sensor Velodyne LiDAR (dreta)

3.6. Adquisició i processament de dades

L'adquisició de dades va consistir en realitzar dos escanejos a la parcel·la experimental amb el sensor Velodyne LiDAR. Els escanejos es van fer el 22 de juny de 2019 i el 20 de setembre de 2019.

El procés realitzat per a cada un dels dies va consistir en recórrer amb la plataforma mòbil autopropulsada i el sensor Velodyne LiDAR les 24 files de la parcel·la experimental, la qual cosa suposava recórrer un total de 25 carrers (**Figura 9**). D'aquesta forma s'aconseguia enregistrar informació de les dues bandes (cares) de la fila.



Figura 9: Files i carrers de l'àrea d'estudi

Els fitxers finals que s'obtenien després de realitzar cada escaneig, amb la posterior georeferenciació i l'eliminació de punts no desitjats (terra, herbes, files fora de la zona d'estudi...), eren arxius de Cloud Compare (v2.11 alpha, Girardeau-Montaut, París, França), en format *.bin. El Cloud Compare és un programari de processament de núvols de punts en 3D i per tant, l'arxiu *.bin permetia visualitzar aquest núvol (**Figura 10**).

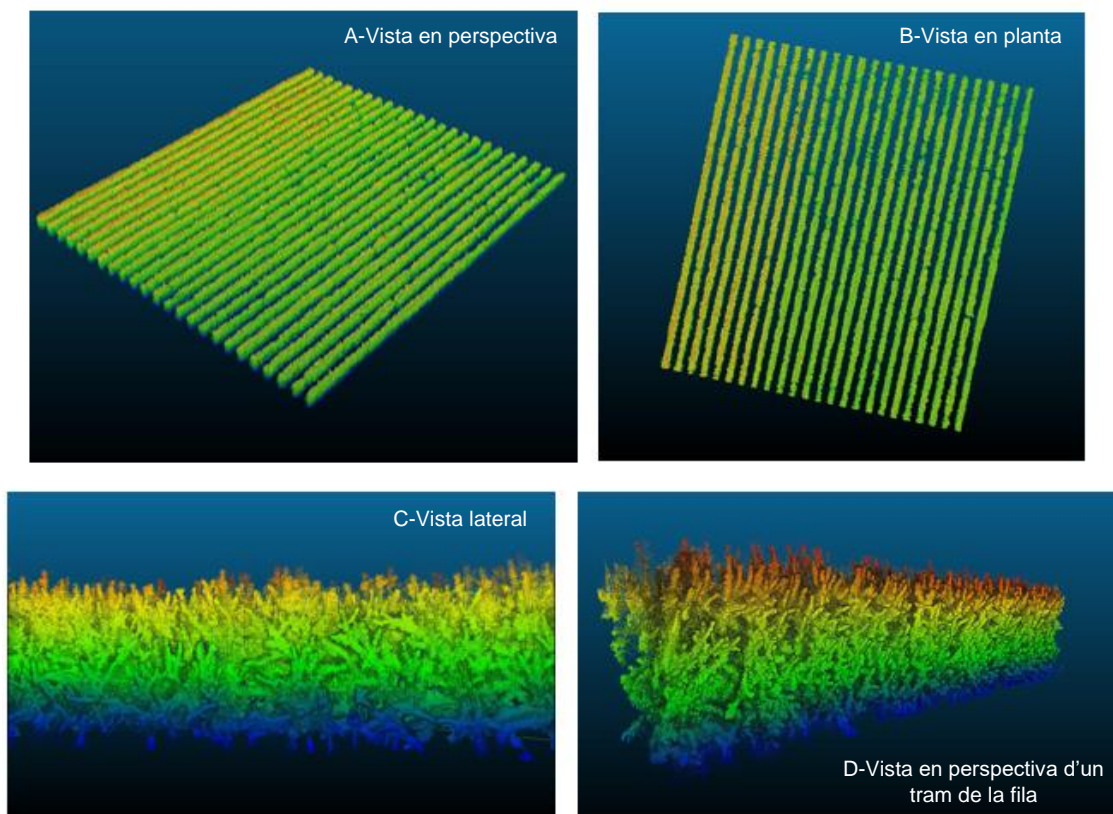


Figura 10: Visualització del núvol del punts en 3D al Cloud Compare. A-Vista en perspectiva. B-Vista en planta de la parcel·la. C-Vista lateral. D-Vista en perspectiva d'un tram de la fila

Finalment, una vegada obtingut el fitxer en format *.bin i amb l'ajuda del software Cloud Compare, aquest fitxer es convertia en format *.txt per tal de realitzar l'anàlisi de dades posterior amb altres programaris (**Figura 11**).

Cal tenir en compte que amb el programari Cloud Compare es van obtenir 24 fitxers en format text per cada escaneig, és a dir, un total de 48 fitxers.

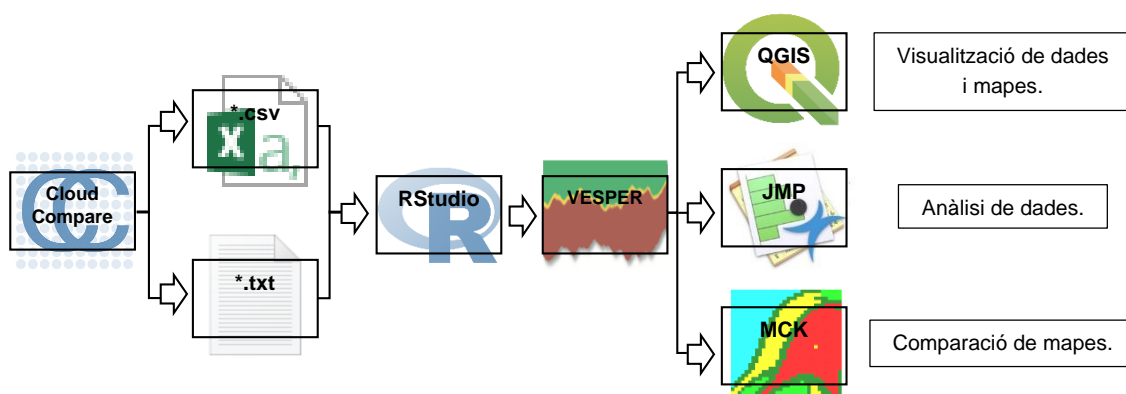


Figura 11: Esquema dels programaris utilitzats

3.7. Programació i codi R: obtenció de paràmetres

El programari RStudio (Joseph J. Allaire, 2011, USA. v. 3.6.1) s'ha utilitzat com a entorn de treball R per tal de processar i extreure informació procedent del núvol de punts 3D obtingut amb el sensor LiDAR Velodyne, mitjançant l'execució d'un codi R creat pels membres del Grup de Recerca en AgròTICa i Agricultura de Precisió (GRAP). Aquest codi havia estat creat anteriorment i ha estat adaptat, específicament, per analitzar núvols de punts de plantacions per fileres, com és el cas de l'ametller (veure Annex 8.1.1).

Tot seguit, a la **Figura 12** es pot observar un diagrama del procés realitzat amb el software RStudio.

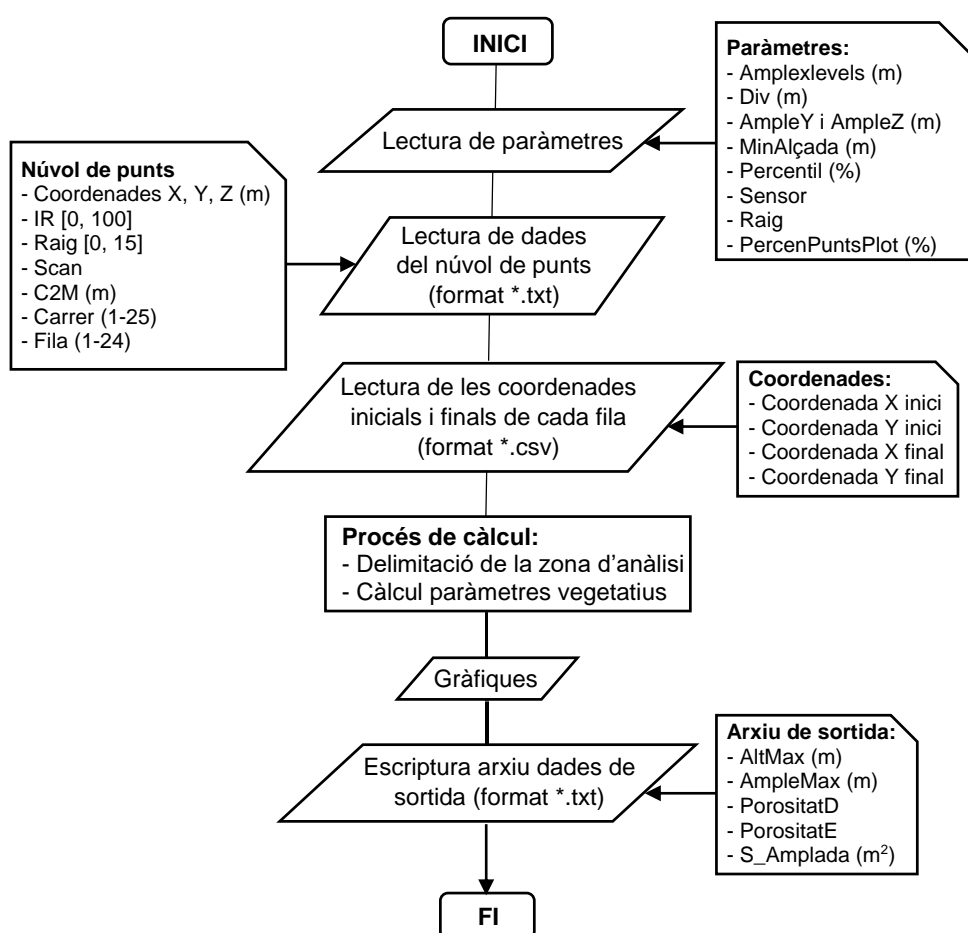


Figura 12: Diagrama de flux realitzat amb RStudio

Per dur a terme aquest procés calia importar a l'RStudio el fitxer, en format text (*.txt), obtingut amb el programari Cloud Compare, específic de cada fila, i un arxiu text (*.csv), amb les coordenades inicials i finals de la fila en estudi. Aquests arxius, juntament amb els paràmetres de processament, feien referència a les entrades del programari.

Respecte als arxius d'entrada, primerament, hi havia un arxiu en format text (*.txt) referent al núvol de punts (**Figura 13**). Cal tenir en compte que per a cada punt, les seves coordenades i la diferent informació relacionada es descriuen en una mateixa fila de l'arxiu. La informació referent a cada punt era:

- **Coordenades X, Y, Z:** coordenades UTM de cada punt del núvol (en metres).
- **IR:** valor de reflectància del LIDAR [0, 100].
- **Número de raig (Raig):** nombre de raig [0, 15] amb el que s'ha fet la lectura del punt. En aquest estudi, es va utilitzar només el raig perpendicular, que correspon al raig amb l'enumeració 1.
- **Número d'escaneig (Scan):** valor que se li atorga a cada un dels escanejos que realitza el sensor des de que s'ha posat en funcionament. El primer escaneig va ser el número 1.
- **C2M (Cloud to mesh):** alçada del punt respecte una malla que representa la superfície del terreny (en metres). Aquesta malla s'ha utilitzat per eliminar les dades referents al terra de la plantació
- **Número de carrer (Carrer):** número de carrer des d'on s'ha fet l'escaneig del punt. Hi havia 25 carrers, ja que es van escanejar 24 files.
- **Número de fila (Fila):** aquesta variable s'utilitza en el cas de que sigui necessari més d'un escaneig per completar el llarg de la fila d'arbres. El valor anirà incrementant a mesura que s'hagi d'anar reiniciant el sistema d'escaneig.

X	Y	Z	IR	RAIG	SCAN	ANGLE	C2M	CARRER	FILA	REPETICIO
288250.853	4616150.945	274.638	11	15	94	-1.11	2.44	2	1	0
288250.827	4616150.941	274.659	63	15	94	-1.11	2.46	2	1	0
288250.856	4616150.943	274.653	24	15	94	-1.1	2.46	2	1	0
288250.871	4616150.943	274.661	66	15	94	-1.1	2.47	2	1	0
288250.874	4616150.94	274.684	6	15	94	-1.09	2.49	2	1	0
288250.884	4616150.94	274.686	12	15	94	-1.08	2.49	2	1	0
288250.879	4616150.934	274.736	7	15	94	-1.06	2.54	2	1	0
288250.872	4616150.932	274.749	26	15	94	-1.06	2.55	2	1	0
288250.895	4616150.933	274.744	29	15	94	-1.05	2.55	2	1	0
288250.9	4616150.933	274.75	26	15	94	-1.05	2.55	2	1	0
288250.889	4616150.93	274.763	29	15	94	-1.05	2.57	2	1	0
288250.875	4616150.928	274.779	33	15	94	-1.04	2.58	2	1	0
288250.872	4616150.926	274.789	56	15	94	-1.04	2.59	2	1	0
288250.881	4616150.926	274.793	63	15	94	-1.04	2.6	2	1	0
288250.883	4616150.925	274.8	63	15	94	-1.03	2.6	2	1	0
288250.88	4616150.923	274.81	26	15	94	-1.03	2.61	2	1	0

Figura 13: Exemple d'un arxiu d'entrada, en format text, obtingut amb el Cloud Compare

En segon lloc, l'altre arxiu d'entrada, en format *.csv, feia referència a les coordenades inicials (X_i , Y_i) i finals (X_f , Y_f) d'una sola fila. Aquestes coordenades definien la zona d'interès dins de cada fila.

Per altra banda, els paràmetres de processament necessaris per adaptar el procediment eren aquells que es podien modificar en el codi i que permetien fer diferents tipus d'anàlisi. Aquests paràmetres eren:

- **Resolució longitudinal d'anàlisi (m) (Amplelevels):** feia referència al tram longitud dins la fila que interessava analitzar, en aquest cas, es van estudiar trams corresponents a tres resolucions diferents: 0,10, 0,25 i 0,50 m (**Figura 14**).

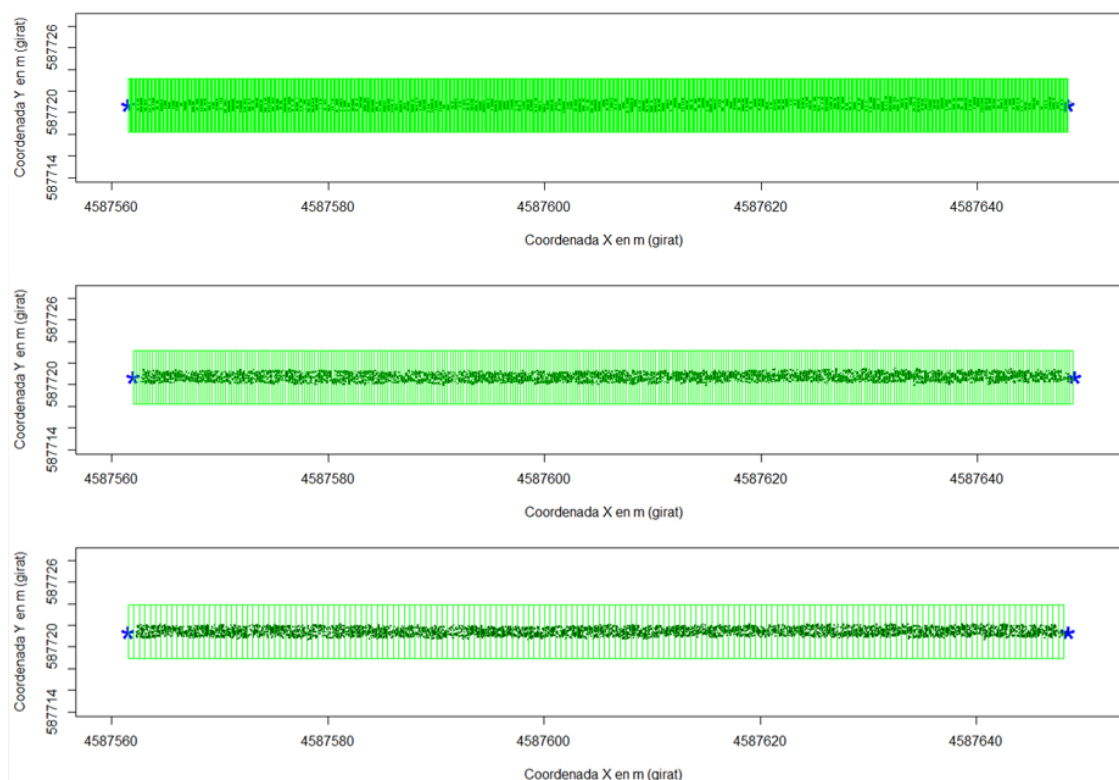


Figura 14: Anàlisi de caixes a les resolucions de 0,10 m; 0,25 m i 0,50 m (de dalt a baix)

- **Resolució vertical d'anàlisi (m):** dimensió dels estrats d'anàlisi en alçada (0,10 m) necessaris pel càlcul de l'amplada mitjana i la secció de la vegetació. Aquesta resolució s'ha mantingut fixa en tot l'estudi.
- **AmpleY i AmpleZ (m):** la dimensió Y ha de ser suficientment gran com per incloure tota l'amplada del dosser (amplada transversal). En canvi, en la dimensió Z s'analitzà l'alçada de la capçada, i també contenia tota la vegetació. Aquestes dimensions han de permetre fer l'anàlisi sobre una sola fila de vegetació encara que el núvol de punts contingui informació de files contigües.
- **MinAlçada (m):** alçada a partir de la qual s'analitzava el dosser foliar.

- **Percentil:** càlcul dels percentils superior i inferior de les amplades i les alçades. Per aquest estudi s'ha definit un percentil 2,5% que s'aplica a cada extrem de l'agrupació de punts analitzada, quedant per tant, un 95% dels punts vàlids.
- **Raig:** número de raig que es vol analitzar. S'utilitzarà el més semblant al raig central (1).
- **Sensor:** variable que defineix el tipus de sensor. En aquest cas 1, corresponent al sensor (Velodyne).
- **Percentatge de punts simplificats (PercenPuntsPlot):** % de punts a representar en els gràfics. Això permet que el procés sigui més ràpid, es va escollir un valor petit (1-2%).

Altrament, la informació de sortida eren diversos gràfics i un arxiu que contenia els paràmetres vegetatius.

Les gràfiques permetien observar si el codi en l'RStudio funcionava i processava les dades correctament.

Referent a l'arxiu de sortida, en formaven part els paràmetres vegetatius obtinguts, és a dir, una sèrie de paràmetres del dosser foliar referits a unes coordenades sobre la fila, i corresponents a les resolucions d'anàlisi predefinides (0,10 m, 0,25 m i 0,50 m). Aquesta informació s'utilitzà després per al mapat i l'anàlisi de la variabilitat espacial. Els paràmetres vegetatius obtinguts a partir del núvol 3D aplicant el codi R van ser:

- **Porositat dreta i porositat esquerra (PorositatD i PorositatE):** la porositat és el percentatge de punts LiDAR que traspassen l'arbre, és a dir, és una relació entre els rajos emesos pel sensor LiDAR i els rajos que es queden retinguts en la vegetació. Aquest paràmetre fa referència a la porositat existent a cada banda d'una fila, a dreta i a esquerra. La porositat esquerra era aquella porositat que el sensor LiDAR llegia des de l'esquerra, i la porositat dreta era la porositat de l'arbre que el sensor llegia des de la banda dreta.

A la **Figura 15** es pot veure un exemple de les porositats dreta i esquerra. Si s'observa aquesta figura es pot observar que les dues porositats no coincideixen. Això pot ser degut a que el punt de vista del sensor és diferent quan s'escaneja per una banda o per l'altra i, en conseqüència, fa que la capacitat de penetració de la multitud de raig sigui lleugerament diferent.

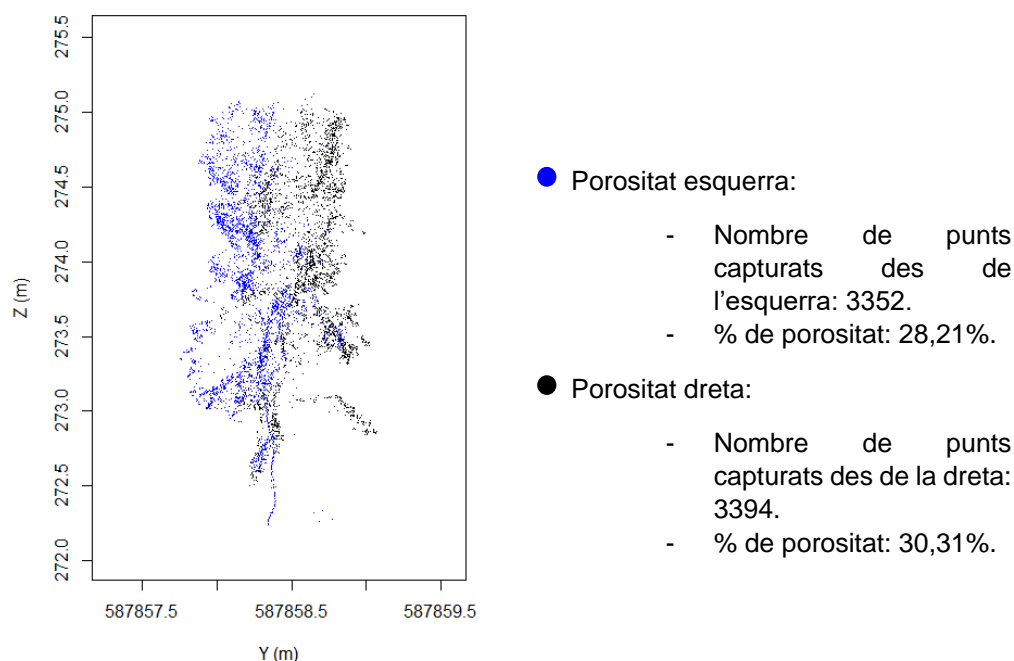


Figura 15: Exemple d'anàlisi de la porositat dreta i esquerra

- **Alçada màxima (AltMax):** alçada màxima, en metres, dins un tram longitudinal de fila segons les tres resolucions analitzades.
- **Amplada mitjana (AmpleMax):** dins un tram longitudinal de fila (resolució), mitjana de les amplades màximes mesurades cada 0,10 m en alçada de vegetació (dimensió Z) (en metres).
- **Secció transversal (S_amplada):** secció de la vegetació, en m². Aquesta secció es va calcular a partir de les amplades màximes obtingudes en alçada (cada 0,10 m) i referides a un tram de fila o resolució específica. El càlcul consisteix en fer el sumatori de la superfície de tots els rectangles que es mostren en la **Figura 16**.

En la **Figura 16** es pot observar un exemple de l'alçada màxima, l'amplada mitjana màxima i la secció transversal a les tres resolucions d'anàlisi.

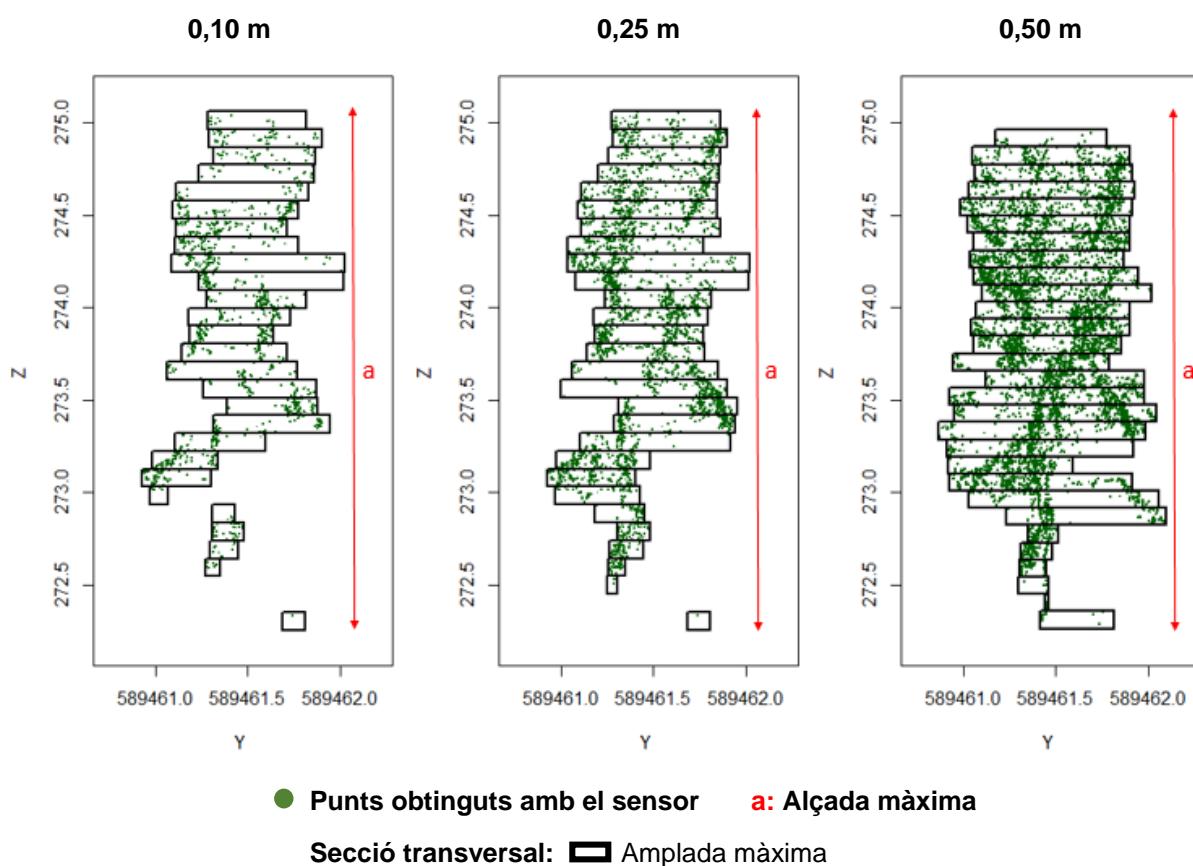


Figura 16: Exemple d'anàlisi de l'alçada màxima, l'amplada mitjana màxima i la secció transversal

Així doncs, després d'haver realitzat aquest procés s'obtingué un total de 144 fitxers en format text. Com ja s'ha dit anteriorment, es disposava de 48 fitxers en format text obtinguts amb el programari Cloud Compare. Per tant, tenint en compte que els paràmetres vegetatius s'obtenien a tres resolucions diferents (0,10 m, 0,25 m i 0,50 m), s'obté el resultat final de 144 fitxers. Una mostra d'aquests fitxers es pot veure a la **Figura 17**.

X	Y	Fila	AmpleMax	Ample90	AltMax	Alt90	S_CHULL	S_AmpleMax	S_Ample90	PorositatE	PorositatD
288,251.16	4,616,150.52	1.00	0.41	0.38	2.57	2.29	1.74	1.00	0.90	65.59	65.59
288,251.14	4,616,150.42	1.00	0.31	0.27	2.49	2.30	1.46	0.76	0.68	5.37	5.37
288,251.12	4,616,150.32	1.00	0.44	0.39	2.51	2.28	1.89	1.15	1.01	8.10	8.10
288,251.10	4,616,150.22	1.00	0.45	0.40	2.41	2.17	1.86	1.12	0.99	7.50	7.50
288,251.08	4,616,150.12	1.00	0.36	0.31	2.27	1.96	1.66	0.82	0.71	11.03	11.03
288,251.07	4,616,150.03	1.00	0.35	0.32	2.32	1.99	1.51	0.80	0.74	16.92	16.92
288,251.05	4,616,149.93	1.00	0.37	0.36	2.19	1.53	1.37	0.67	0.65	26.33	26.33
288,251.03	4,616,149.83	1.00	0.27	0.25	2.34	1.98	1.47	0.62	0.58	63.95	63.95
288,251.01	4,616,149.73	1.00	0.23	0.20	2.40	2.19	1.45	0.55	0.49	43.65	43.65
288,250.99	4,616,149.63	1.00	0.31	0.29	2.31	2.12	1.28	0.75	0.70	47.18	47.18

Figura 17: Estructura dels fitxers obtinguts amb RStudio

A més d'utilitzar el codi R anterior, també se n'ha utilitzat un altre amb la finalitat d'obtenir un sol fitxer en format text per escaneig, que contingui tots els paràmetres vegetatius

d'interès i les tres resolucions (veure Annex 8.1.2). Per aconseguir un sol fitxer, i en l'entorn de RStudio, calia indicar el començament del nom (ExportData1) dels arxius en format text que aquest havia d'analitzar. Perquè això resultés més fàcil, els 144 arxius aconseguits amb el primer codi R, es guardaven amb l'expressió ExportData1, seguit de la resolució utilitzada i el número de fila (**Figura 18**).

```
# Llegim els arxius de la carpeta  
NomsArxius<-list.files(pattern = "ExportData1")
```

Figura 18: Expressió amb la que es guardaven els arxius perquè el codi R els pogués analitzar.

3.8. Mapat i anàlisi espacial dels paràmetres LiDAR

3.8.1. Programari VESPER

Després d'haver aconseguit un únic fitxer en format text de cada escaneig, que contenia els paràmetres vegetatius que es volen estudiar en tres resolucions diferents, cal realitzar el mapat d'aquests en 2D. Aquests mapes tenen l'objectiu de comparar els diferents paràmetres vegetatius a diferents resolucions. Per fer-ho, s'utilitzà el programari VESPER (*Variogram Estimation and Spatial Prediction with Error*), un programa lliure desenvolupat pel Laboratori d'Agricultura de Precisió de la Universitat de Sydney (VESPER v. 1.62). El Vesper permetia, a través de mètodes geoestadístics, avaluar la variabilitat espacial de les dades mitjançant l'ajust d'un semivariograma (anàlisi variogràfica) i realitzar la interpolació espacial posterior (*kriging*).

A continuació, s'explica el procediment que s'ha dut a terme.

Entrada i sortida de dades

Una vegada preparat l'arxiu d'entrada en format text per tal que el VESPER pogués llegir-lo correctament, calia indicar al programa quina columna de l'arxiu d'entrada havia d'analitzar-se (1) i on s'havien de guardar els fitxers i resultats de sortida (2) (**Figura 19**).

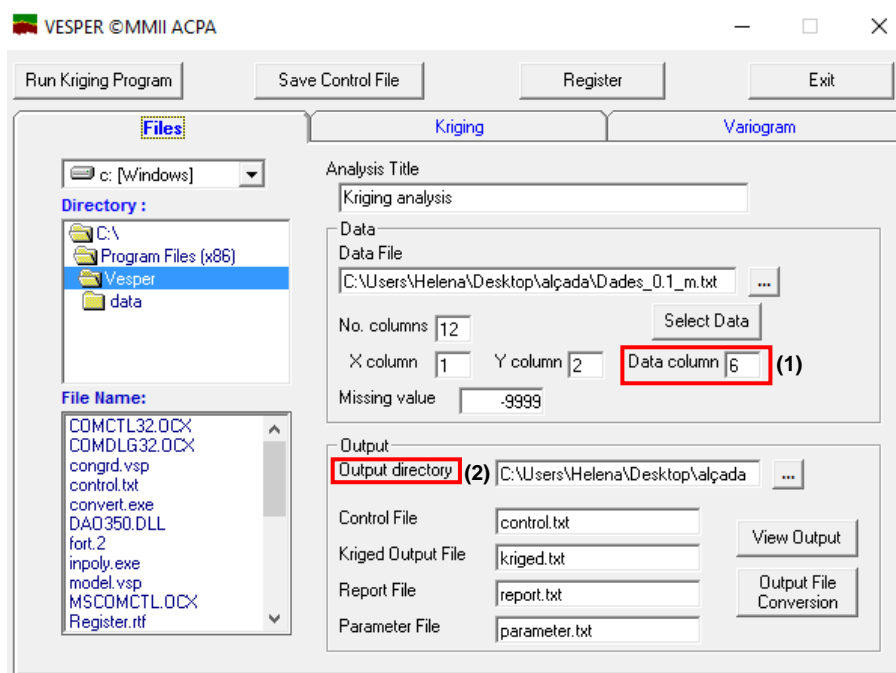


Figura 19: Entrada i sortida de dades en el software VESPER

Càlcul i ajust del semivariograma

En segon lloc, es va realitzar el càlcul i l'ajust del semivariograma (**Equació 1**). El semivariograma permetia estudiar la variabilitat espacial de les dades que s'havien mostrejat dins l'àrea d'estudi (subparcel·la) amb el sensor LiDAR.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_j)]^2 \quad (1)$$

On,

h , és la distància entre el parell de punts.

$Z(x_i), Z(x_j)$, localització i valor de la mostra.

N , nombre de parells.

En aquest cas, es calculava un semivariograma global, el qual utilitzava totes les dades subministrades pel sensor LiDAR dins l'àrea d'estudi. Un cop obtingut el semivariograma experimental, l'ajust del semivariograma paramètric (model) es realitzava escollint el millor ajust entre tres models diferents: *lineal*, *exponencial* i *esfèric* (**Figura 20**). En tots els casos (mapes realitzats), s'elegia aquell model que proporcionava el valor més baix de RMSE (arrel de l'error quadràtic mig) (**Figura 21**).

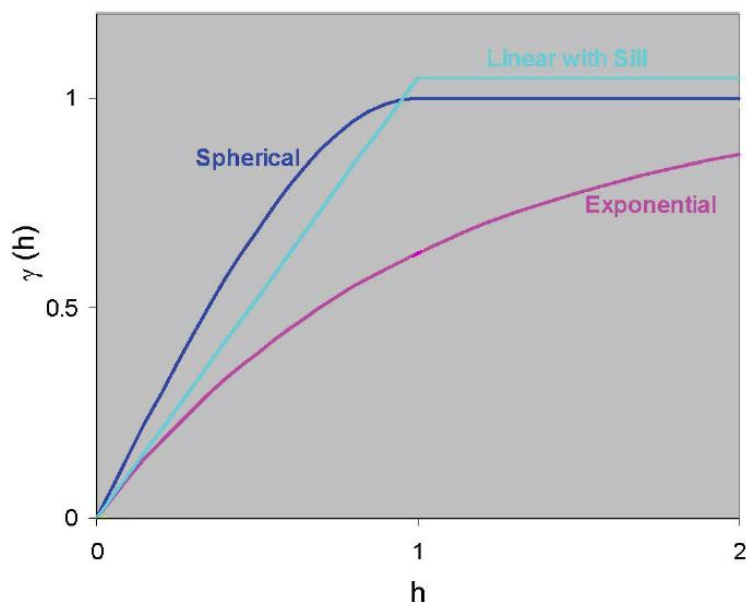


Figura 20: Models de variograma. Font: *Vesper_1.6_User_Manual*

Observant la **Figura 20**, l'eix de les ordenades del semivariograma feia referència a la semivariància mitjana per a diferents intervals de classe (parelles de punts); en canvi, el de les abscisses indicava el valor de classe dels diferents intervals, és a dir, la separació existent (m) entre aquestes parelles de punts. Normalment aquesta distància s'anomena 'lag' i es simbolitza com a 'h'. En definitiva, el semivariograma donava una idea de com variava la propietat d'interès amb la distància de separació entre punts. Aquesta informació era bàsica a l'hora de fer el mapat, és a dir, a l'hora de predir valors de la variable en localitzacions no mostrejades. Utilitzant aquest procediment, era possible obtenir un mapa de superfície amb cobertura ràster cobrint, d'aquesta manera, la totalitat de l'àrea escanejada amb el sensor LiDAR.

Els paràmetres del variograma ajustat que eren d'especial interès per la interpolació dels mapes són: C_0 que feia referència a l'efecte *nugget*, C_1 que era la variància estructural i l' A_1 l'abast del semivariograma.

El **paràmetre C_0** (efecte *nugget*) hauria de ser, teòricament, 'zero'. Valors majors eren indicatius de possibles errors de mesura però, sobretot, de l'existència de variació del paràmetre vegetatiu a una escala inferior a la resolució de mesura utilitzada (0,10 m, 0,25 m, 0,50 m).

El **paràmetre C_1** era indicatiu de l'anomenada variància estructural, és a dir, de la variància espacial del paràmetre vegetatiu que era explicada pel semivariograma. Clarament, la presència d'un efecte 'nugget' anava lligat amb l'obtenció de mapes amb un patró de distribució espacial poc definit, sent difícil possiblement la delimitació de zones més o menys diferenciades.

Per últim, el **paràmetre A_1** (abast) permetia establir la distància d'autocorrelació espacial, és a dir, la distància de separació entre punts a partir de la qual dues localitzacions dins la parcel·la no presenten correlació espacial. Per tant, la variació del paràmetre vegetatiu entre localitzacions que disten una distància per damunt de l'abast podia arribar a ser tan gran com la variància del mencionat paràmetre dins l'àrea d'estudi.

Després d'haver fet aquesta tasca, s'obtenia un fitxer en format text del semivariograma calculat.

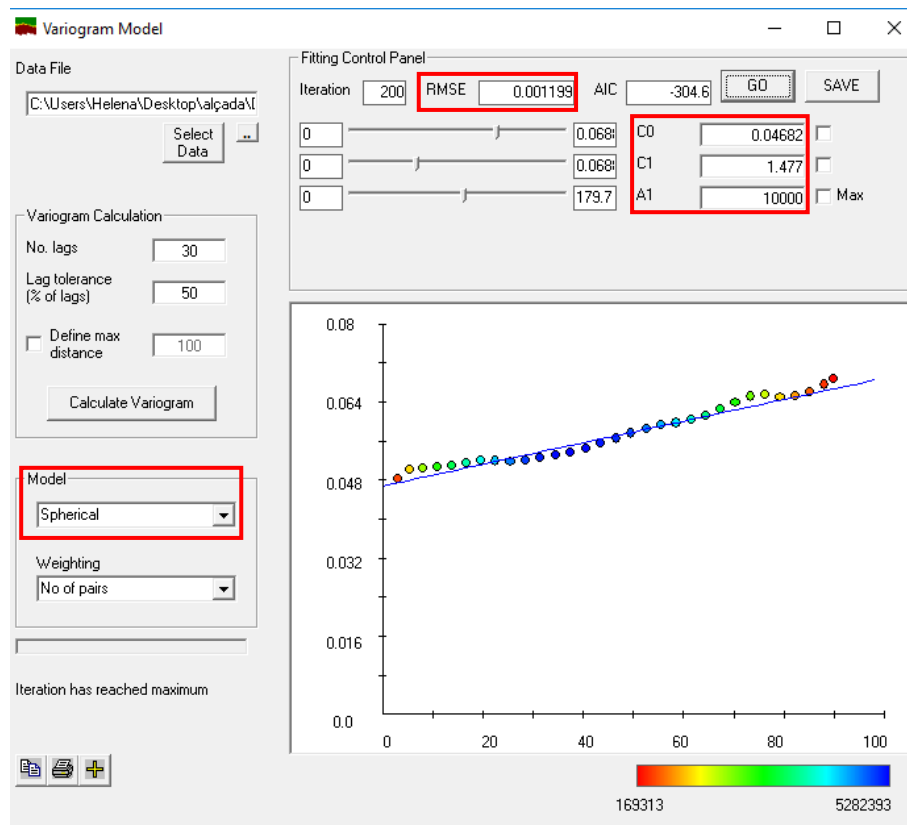


Figura 21: Exemple de l'ajust del semivariograma amb el software VESPER

Interpolació espacial (kriging)

Una vegada realitzat l'ajust del semivariograma, el següent pas era realitzar la interpolació geoestadística espacial de les dades mitjançant un *kriging* ordinari. Aquest mètode considerava la possible correlació espacial entre les diferents localitzacions (punts de la mostra) i, d'aquesta manera, optimitzar la predicció del paràmetre vegetatiu ponderat de manera més objectiva els pesos de l'Equació 2.

A més, es va considerar un *kriging* en blocs de 5x5 m (Figura 22), per tal de predir un valor mig representatiu del paràmetre LiDAR per a una àrea més gran centrada en el punt de predicció (píxel). Així, el kriging en blocs aconseguia suavitzar els resultats interpolants.

$$Z_o = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot z_i \quad (2)$$

On,

Z_o , feia referència a aquells valors del paràmetre vegetatiu que es volien predir.

Z_i , eren els valors reals georeferenciats, que s'havien obtingut en l'escaneig (mostra).

λ_i , eren els pesos o ponderacions. Aquests pesos es calculaven a partir del semivariograma, és a dir, en funció de la distància entre els punts de la mostra i els punts que es volien predir. Per a l'assignació de les ponderacions es van tenir en compte entre 90 i 100 punts veïns al punt (píxel) que es volia predir.

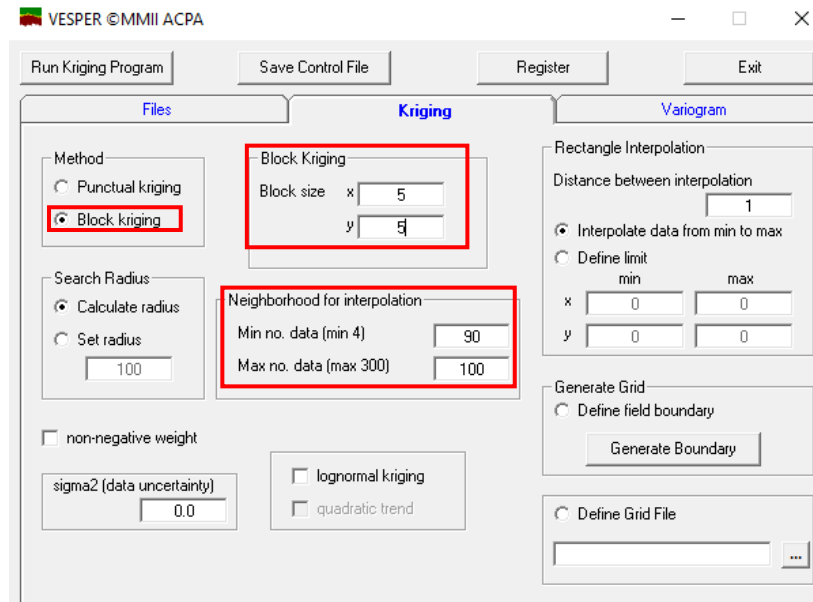


Figura 22: Configuració dels diferents paràmetres per realitzar el kriging amb el software VESPER

Per altra banda, també es va haver de definir el contorn de la parcel·la. Per fer-ho, es va crear un arxiu en format text (*boundary*) amb les coordenades que limitaven la parcel·la. Així mateix, es va haver d'especificar la mida del *grid* d'interpolació o grandària de píxel; aquest es va fixar en 1 metre (**Figura 23**), per a tots els mapes interpolats.

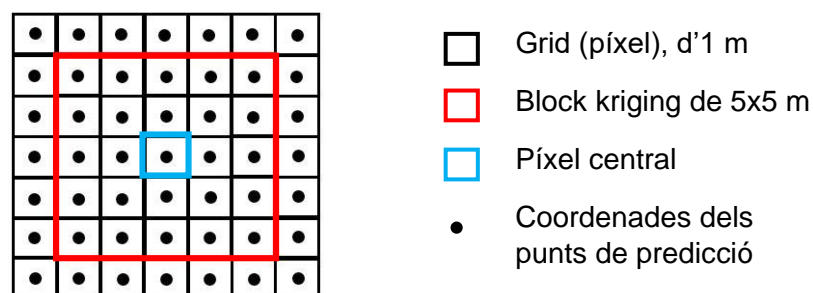


Figura 23: Block kriging amb una grandària de píxel d' 1 m

Conversió dels fitxers de sortida

Finalment, una vegada realitzats els passos que s'han explicat anteriorment, calia fer una conversió dels fitxers de sortida, per tal que aquests es poguessin obrir amb el programa QGIS (v. 3.6, *Development Team*) i, per tant, poder visualitzar el mapat. Els arxius de sortida s'havien de guardar en format *.txt (**Figura 24**).

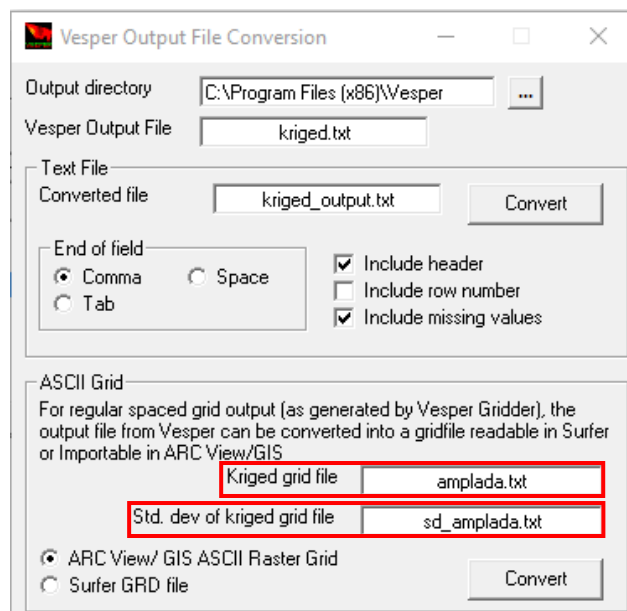


Figura 24: Conversió de l'arxiu de sortida

En l'apartat 8.2 dels annexos es poden observar els mapes, obtinguts a les diferents resolucions d'estudi, de cada paràmetre vegetatiu amb el seu variograma corresponent.

3.9. Optimització de la resolució d'obtenció dels paràmetres LiDAR: anàlisi comparativa de mapes

3.9.1. Programari Map Comparison Kit (MCK)

Una vegada realitzats els mapes amb el QGIS, cal dur a terme la comparació dels diferents paràmetres vegetatius a les diferents resolucions mitjançant el programari *Map Comparison Kit* (MCK v. 3.2.3, Bilthoven, Holanda, 1992).

El software MCK desenvolupat per l'Institut de Recerca en Sistemes de Coneixement, permetia la comparació de mapes ràster a través de diferents algorismes.

Tot seguit s'explica el procediment que es va realitzar per fer la comparació dels diferents mapes.

Entrada de dades

Per a què el programari pogués llegir les dades correctament, calia guardar els documents ràster en format *.asc. A continuació, calia crear un *log-file*, per tal de realitzar l'entrada de dades al programari i que aquest les pugui llegir, amb la finalitat de dur a terme la comparació dels mapes (**Figura 25**).

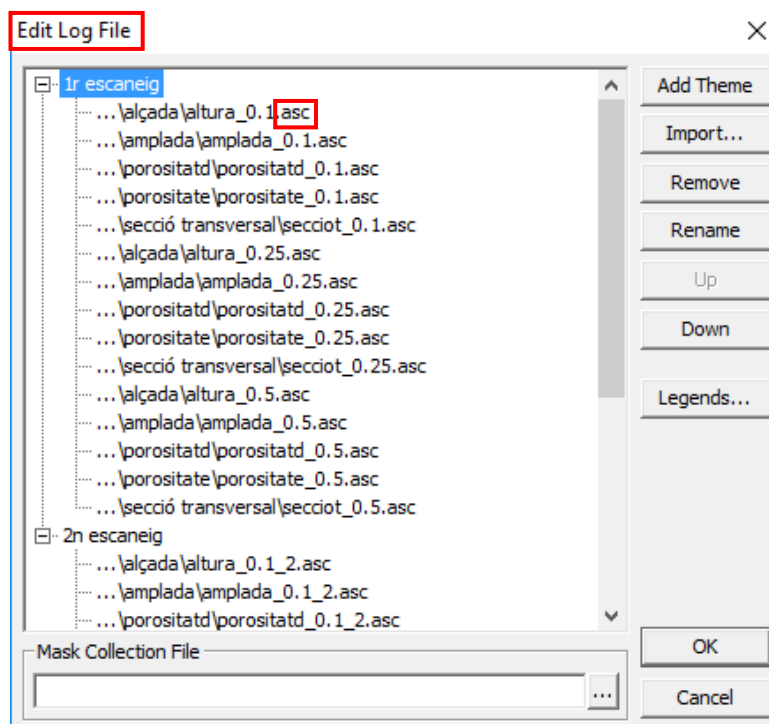


Figura 25: Entrada de dades al programari MCK

Edició de la llegenda

Una vegada realitzada l'entrada de dades, calia fer l'edició de la llegenda amb l'objectiu d'efectuar la comparació dels mapes adequadament. Per fer-ho calia modificar els paràmetres que es poden observar en la **Figura 26**. El que s'ha fet ha estat:

- Escollir el número de classes (interval). En aquest cas, se'n van elegir 8 (1).
- Com que amb l'MCK solament es podien realitzar les comparacions de dos en dos, i en aquest treball es volien comparar diferents paràmetres vegetatius a tres resolucions diferents, es varen fer tres comparacions per a cada paràmetre vegetatiu; per tant, les comparacions es van planificar per a les següents resolucions: 0,10-0,25 m, 0,10-0,50 m i 0,25-0,50 m. Per tal d'utilitzar un mateix criteri (escala) de comparació, s'escollí el valor mínim i màxim dels tres mapes (resolucions) per a cada paràmetre vegetatiu i escaneig. Per saber quin valor mínim i màxim s'havia d'escollir en cada cas, es va utilitzar el programari JMP (v. 14, SAS Institute, Cary, Carolina del Nord, EUA, 1989). A continuació, es pot observar un exemple (**Taula 2**).

Si s'escollia un paràmetre vegetatiu, com pot ser l'alçada, s'observava que en el primer escaneig (22/06/2019), els valors mínims i màxims a les tres resolucions eren:

Taula 2: Exemple per escollir el mínim i el màxim de les tres resolucions

Resolució (m)	Mínim (m)	Màxim (m)
0,10	2,228	2,690
0,25	2,440	2,736
0,50	2,539	2,781

Així doncs, el valor mínim i màxim elegits van ser 2,228 m i 2,781 m, respectivament (**Figura 26**) (2).

- Per altra banda, calia seleccionar el mètode d'escala que millor s'adaptava a les dades (**Figura 26**) (3).

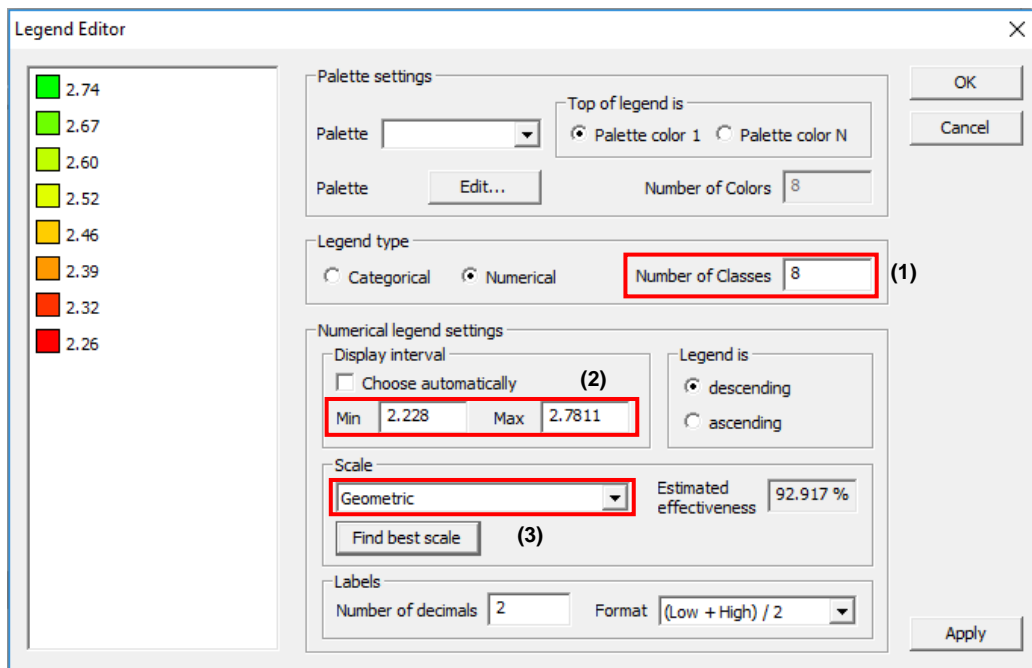


Figura 26: Edició de la llegenda en el programari MCK

La comparació de mapes realitzada sota aquests criteris anteposava, per tant, la coincidència numèrica (coincidència d'interval de classe) dels valors de píxel dels mapes que es comparaven. En definitiva, la concordança entre mapes es veuria afectable notablement, si existís una variació de magnitud dels valors del paràmetre vegetatiu (paràmetres LiDAR) depenent de la resolució aplicada.

Algorismes per a la comparació de mapes

L'algorisme que es va utilitzar per fer la comparació de mapes fou el coeficient kappa (k), que s'utilitza per mesurar el grau de similitud entre dos mapes.

Aquest coeficient era el resultat del producte de dos factors (**Equació 3**):

$$k = k_{Histo} \cdot k_{Location} \quad (3)$$

On,

k_{Histo} : era el factor que mesurava la concordança entre dos mapes, en base a la coincidència del nombre de píxels per als diferents intervals de classe (distribució del nombre total de píxels en cada classe).

$k_{Location}$: coeficient que mesurava la similitud entre els mapes, en base a la coincidència en la distribució espacial dels intervals de classe sobre l'àrea en estudi.

Per saber quin era el grau de similitud existent entre dos mapes es va tenir en compte la següent escala de valoració a partir de la interpretació del valor kappa (**Taula 3**).

Taula 3: Escala de valoració del coeficient kappa

Escala de valoració del coeficient kappa	
Pobre si $k < 0$	Moderat si $0,41 \leq k \leq 0,60$
Lleuger si $0 \leq k \leq 0,20$	Substancial si $0,61 \leq k \leq 0,80$
Just si $0,21 \leq k \leq 0,40$	Quasi perfecte si $k > 0,80$

A la **Figura 27** es pot observar un exemple d'aquests coeficients:

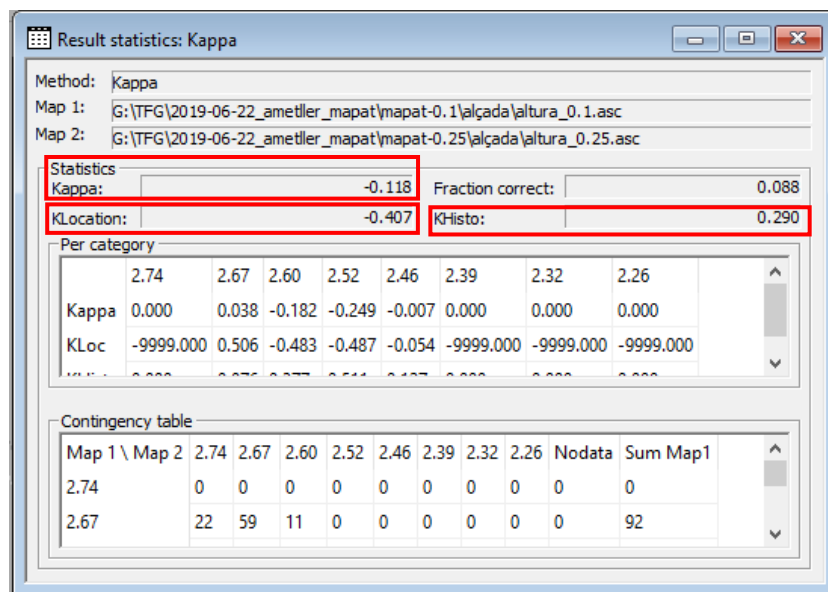


Figura 27: Coeficients kappa, KHisto i KLocation

Els mapes realitzats amb l'MCK es poden consultar en l'apartat 8.2 dels annexos.

3.10. Classificació de mapes: algorisme de *k*-mitjanes

En aquest apartat, s'explica el procés realitzat per dur a terme la classificació dels mapes de paràmetres vegetatius en dues i tres classes o clústers, per a cadascuna de les tres resolucions d'estudi (0,10 m; 0,25 m i 0,50 m). El programari utilitzat ha estat el JMP (v. 14), i el mètode de classificació s'ha basat en l'algorisme de *k*-mitjanes. Ara bé, cal dir que aquesta classificació solament s'executà pel paràmetre vegetatiu de la secció transversal (ST), i, més concretament, pel segon escaneig (20/09/2019), ja que s'ha considerat que és el paràmetre més representatiu de tots els que s'han mesurat.

La classificació en classes o clústers va consistir en classificar els valors dels píxels, o valors interpolats amb el programari VESPER (kriged), en dues classes (ST baixa, i ST alta) o en tres classes (ST baixa, ST mitjana, i ST alta). El software JMP permetia realitzar aquestes classificacions a través d'una anàlisi de conglomerats i l'ús de l'algorisme *k*-mitjanes. Aquest algorisme és molt popular en Agricultura de Precisió a l'hora de zonificar les parcel·les en base a mapes de prescripció. Concretament, el mètode agrupava els píxels en classes que, sent els valors de píxel homogenis dins la classe, diferissin el màxim possible entre classes (**Figura 28**). En l'Annex 8.3 es pot veure el procediment utilitzat en l'algorisme *k*-mitjanes.

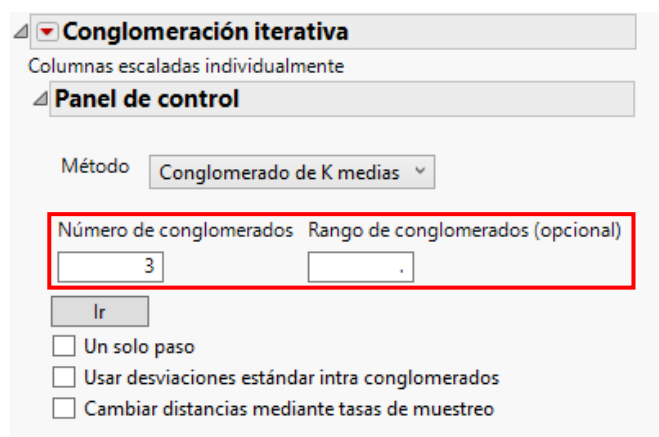


Figura 28: Exemple del procés de classificació en tres classes amb JMP

Una vegada fetes aquestes classificacions, calia anotar els valors obtinguts de les classes o clústers (2 i 3 classes) en les tres resolucions d'estudi.

Posterior a l'anàlisi clúster, es va realitzar una comparació dels mapes classificats a través d'una anàlisi de contingència. Així, es compararen els valors de conglomerat a nivell qualitatiu per a les diferents resolucions, i poder establir el grau de concordança de classes (**Figura 29**). Les comparacions fetes han estat les següents:

- Classificació en dues classes a una resolució de 0,10 m i 0,25 m.
- Classificació en dues classes a una resolució de 0,10 m i 0,50 m.
- Classificació en dues classes a una resolució de 0,25 m i 0,50 m.
- Classificació en tres classes a una resolució de 0,10 m i 0,25 m.
- Classificació en tres classes a una resolució de 0,10 m i 0,50 m.
- Classificació en tres classes a una resolució de 0,25 m i 0,50 m.

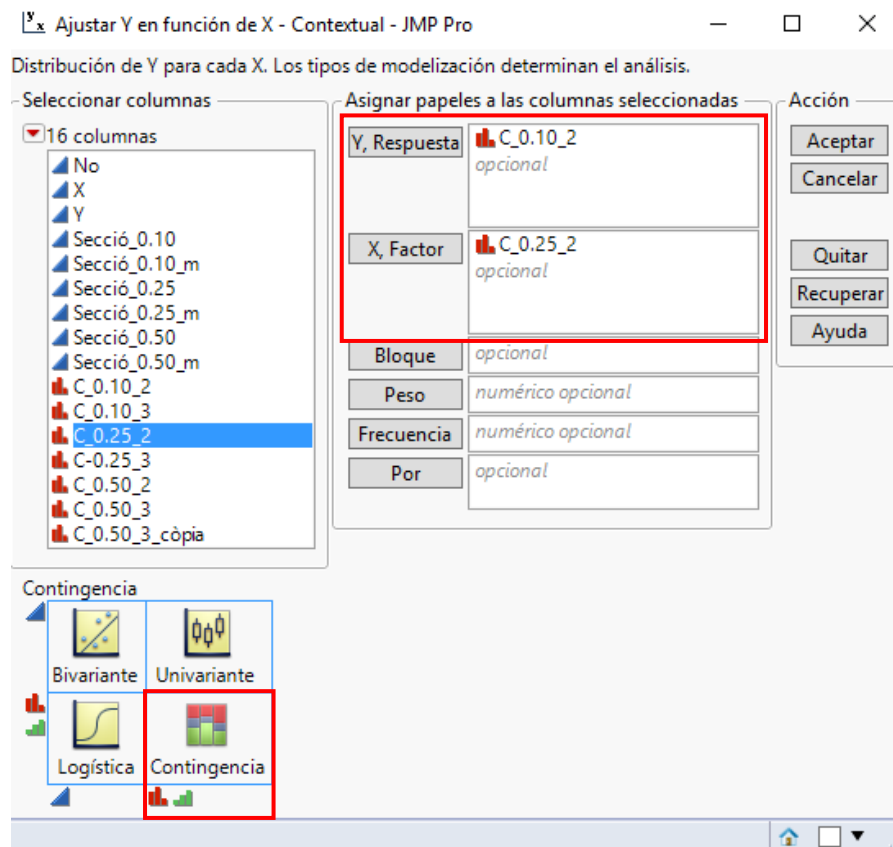


Figura 29: Comparació dels conglomerats dos a dos

Una vegada realitzada aquesta anàlisi, s'anotaven els valors del coeficient kappa obtinguts amb la finalitat de comparar-los amb els valors adquirits amb el programari MCK (**Figura 30**). L'objectiu final d'aquesta anàlisi era comprovar si la concordança dels mapes (diferents resolucions) es produïa a nivell qualitatiu, és a dir, quan es comparaven els mapes en base dues o tres classes sense entrar en els valors numèrics representatius de cada classe. Dit d'una altra manera, interessava comprovar si les àrees amb valors alts o baixos del paràmetre vegetatiu en estudi (comparació de dues classes) coincidien a nivell de parcel·la independentment de la resolució d'origen del mapa.

Estadístico de concordancia				
Coeficiente kappa				
Grado de concordancia	Kappa	Error estándar	Extremo inferior del IC al 95%	Extremo superior del IC al 95%
	0.744073	0.008439	0.727533	0.760613
Prueba asintótica	Prob > z	Prob > Z		
	<.0001*	<.0001*		

Figura 30: Exemple coeficient de concordança kappa

Finalment, l'arxiu obtingut s'importava al programari QGIS, amb l'objectiu de crear els mapes classificats en dues i tres classes, en les tres resolucions d'estudi.

3.11. Anàlisi de la variància en mapes classificats (ANOVA)

En el supòsit que hi hagués concordança qualitativa entre mapes a diferents resolucions (apartat anterior), seria necessari avaluar si els valors mitjans de classe eren o no significativament diferents segons la resolució original del mapa. En altres paraules, pot canviar el valor esperat del paràmetre vegetatiu per a una mateixa classe segons la resolució?

Per contestar la qüestió anterior, i una vegada feta la classificació dels mapes, es va confeccionar una anàlisi estadística de la variància (ANOVA) mitjançant el software JMP. Aquesta anàlisi es va centrar, evidentment, en el paràmetre vegetatiu de la secció transversal (ST) obtinguda en el segon escaneig (20/09/2019). El procediment s'explica a continuació.

En primer lloc, s'escollien 20 dades aleatòriament (valors de píxel) dins de cada classe i per a cada resolució. És a dir, si s'havien classificat els valors de píxel en dues classes i una resolució de 0,10 m (valors ST alts, C1, i valors ST baixos, C2), s'agafaven 20 dades elegides a l'atzar de la classe C1 i 20 valors més de la classe C2 (**Figura 31**). Aquest procediment calia repetir-lo per a les tres resolucions d'estudi (0,10-0,25-0,50 m), i així, poder veure si existien diferències significatives entre els valors d'una determinada classe segons la resolució d'obtenció del paràmetre.

	Clúster	ST	Resolució		Clúster	ST	Resolució
1	C1	2.77615	ST_0.10	61	C2	2.32769	ST_0.10
2	C1	2.55305	ST_0.10	62	C2	2.07364	ST_0.10
3	C1	2.55068	ST_0.10	63	C2	2.12473	ST_0.10
4	C1	2.95168	ST_0.10	64	C2	2.23394	ST_0.10
5	C1	2.55306	ST_0.10	65	C2	1.94609	ST_0.10
6	C1	2.79676	ST_0.10	66	C2	1.98288	ST_0.10
7	C1	2.4935	ST_0.10	67	C2	2.12021	ST_0.10
8	C1	2.73049	ST_0.10	68	C2	2.27388	ST_0.10
9	C1	2.80173	ST_0.10	69	C2	2.40372	ST_0.10
10	C1	2.72277	ST_0.10	70	C2	2.24581	ST_0.10
11	C1	2.47521	ST_0.10	71	C2	2.43792	ST_0.10
12	C1	2.46262	ST_0.10	72	C2	2.27852	ST_0.10
13	C1	2.69098	ST_0.10	73	C2	2.34559	ST_0.10
14	C1	2.69995	ST_0.10	74	C2	2.39944	ST_0.10
15	C1	2.87028	ST_0.10	75	C2	2.39846	ST_0.10
16	C1	2.5048	ST_0.10	76	C2	2.34988	ST_0.10
17	C1	2.48894	ST_0.10	77	C2	2.16974	ST_0.10
18	C1	2.69969	ST_0.10	78	C2	2.43419	ST_0.10
19	C1	2.71312	ST_0.10	79	C2	2.42789	ST_0.10
20	C1	2.50097	ST_0.10	80	C2	2.29657	ST_0.10

Figura 31: Exemple de dades classificades de secció transversal per a una resolució de 0,10 m

El model lineal utilitzat fou sempre el següent (**Equació 4**):

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij} \quad (4)$$

on $i = 1, \dots, 3$, $j = 1, \dots, 20$, sent y_{ij} el valor de la secció transversal (paràmetre vegetatiu) j obtingut per a la resolució i (0,10m, 0,25m o 0,50m), μ la mitjana global, α_i l'efecte del nivell i del factor fix 'resolució', i e_{ij} el terme d'error. Cas de detectar-se diferències significatives, la separació de mitjanes s'avaluava amb el test HSD de Tukey.

3.12. Modelització i validació de mapes

Finalment, s'ha realitzat una anàlisi de regressió per tal de comprovar la possibilitat de predir el mapa del paràmetre vegetatiu secció transversal (20/09/2019) a una determinada resolució, a partir del mapa del mateix paràmetre a una altra resolució diferent. Evidentment, aquesta anàlisi de regressió només es portaria a terme en el cas que es produís concordança qualitativa entre classes i no concordança numèrica o magnitud del paràmetre.

Els models a plantejar serien les diferents combinacions disponibles de resolució, utilitzant sempre com a variable explicativa els valors de píxel a una resolució més baixa, i com a variable explicada, els valors corresponents de píxel a més alta resolució del paràmetre. Concretament, l'anàlisi ha consistit en obtenir una recta de regressió entre els valors obtinguts d'una resolució i una altra, de variable explicativa a variable

explicada, segons 0,50-0,25 m, 0,25-0,10 m i 0,25-0,10 m. Els tres models de regressió han de permetre confeccionar un mapa a una resolució a partir d'una altra. La comparació estadística del mapa obtingut a partir d'una altra resolució, amb el mapa original (o mapa de referència), és a dir, el mapa obtingut processant els escanejos a camp a major resolució, ha de permetre validar el procediment. Cas que els models fossin significatius, això permetria obtenir un mapa amb valors del paràmetre vegetatiu a una resolució espacial més elevada que la utilitzada realment durant l'adquisició i el procés de les dades.

4. Resultats i discussió

A continuació es presenten els resultats obtinguts al llarg del treball.

4.1. Descripció dels fitxers obtinguts amb el programari Cloud Compare

En aquest punt es fa una breu descripció dels fitxers obtinguts amb el programari Cloud Compare (**Taula 4 i Taula 5**).

A les taules 4 i 5, s'observa que el número de punts i la mida dels fitxers (kiB) ha augmentat del primer al segon escaneig. Això és degut a que la vegetació de les files havia augmentat del primer escaneig al segon a conseqüència del propi desenvolupament del cultiu.

Taula 4: Fitxers obtinguts amb el programari Cloud Compare (22/06/2019)

CLOUD COMPARE-Primer Escaneig				
Data de captura	Nom	Format	Mida (kiB)	Número de punts
22/06/2019	FILA 1 long	.txt	1.415.004	19.606.127
22/06/2019	FILA 2 long	.txt	1.268.021	17.809.971
22/06/2019	FILA 3 long	.txt	1.335.543	18.522.074
22/06/2019	FILA 4 long	.txt	1.378.454	19.361.260
22/06/2019	FILA 5 long	.txt	1.504.575	20.862.076
22/06/2019	FILA 6 long	.txt	1.302.901	18.306.734
22/06/2019	FILA 7 long	.txt	1.377.343	19.105.206
22/06/2019	FILA 8 long	.txt	1.419.211	19.944.910
22/06/2019	FILA 9 long	.txt	1.454.593	20.027.516
22/06/2019	FILA 10 long	.txt	1.405.137	20.565.005
22/06/2019	FILA 11 long	.txt	1.512.696	20.435.899
22/06/2019	FILA 12 long	.txt	1.528.653	20.913.694
22/06/2019	FILA 13 long	.txt	1.398.013	18.881.614
22/06/2019	FILA 14 long	.txt	1.437.524	19.671.030
22/06/2019	FILA 15 long	.txt	1.464.028	19.780.766
22/06/2019	FILA 16 long	.txt	1.369.716	18.749.274
22/06/2019	FILA 17 long	.txt	1.452.934	19.634.924
22/06/2019	FILA 18 long	.txt	1.508.258	20.638.808
22/06/2019	FILA 19 long	.txt	1.561.171	21.087.874
22/06/2019	FILA 20 long	.txt	1.366.089	18.692.340
22/06/2019	FILA 21 long	.txt	1.275.028	21.789.998
22/06/2019	FILA 22 long	.txt	1.413.104	19.338.642
22/06/2019	FILA 23 long	.txt	1.353.968	18.293.865
22/06/2019	FILA 24 long	.txt	1.275.751	17.451.448

Taula 5: Fitxers obtinguts amb el programari Cloud Compare (20/09/2019)

CLOUD COMPARE-Segon Escaneig				
Data de captura	Nom	Format	Mida (kiB)	Número de punts
20/09/2019	FILA 1 long	.txt	2.099.744	29.083.591
20/09/2019	FILA 2 long	.txt	1.954.174	27.431.053
20/09/2019	FILA 3 long	.txt	2.156.359	29.846.111
20/09/2019	FILA 4 long	.txt	1.865.208	26.183.108
20/09/2019	FILA 5 long	.txt	2.109.689	29.233.708
20/09/2019	FILA 6 long	.txt	1.853.906	26.024.443
20/09/2019	FILA 7 long	.txt	1.918.467	26.583.927
20/09/2019	FILA 8 long	.txt	1.861.326	26.133.726
20/09/2019	FILA 9 long	.txt	2.036.538	28.016.881
20/09/2019	FILA 10 long	.txt	1.881.360	25.727.065
20/09/2019	FILA 11 long	.txt	2.128.463	28.730.591
20/09/2019	FILA 12 long	.txt	1.988.151	27.266.602
20/09/2019	FILA 13 long	.txt	1.985.014	26.874.844
20/09/2019	FILA 14 long	.txt	1.929.263	26.375.584
20/09/2019	FILA 15 long	.txt	2.089.844	28.207.741
20/09/2019	FILA 16 long	.txt	1.863.359	25.479.384
20/09/2019	FILA 17 long	.txt	1.985.574	26.801.978
20/09/2019	FILA 18 long	.txt	1.943.086	26.561.269
20/09/2019	FILA 19 long	.txt	2.192.399	29.588.820
20/09/2019	FILA 20 long	.txt	1.956.116	26.737.873
20/09/2019	FILA 21 long	.txt	2.034.407	27.461.615
20/09/2019	FILA 22 long	.txt	1.964.439	26.856.028
20/09/2019	FILA 23 long	.txt	2.099.744	26.118.692
20/09/2019	FILA 24 long	.txt	1.954.174	27.560.544

4.2. Mapat dels paràmetres vegetatius obtinguts amb el sensor LiDAR.

Interpretació

La **Figura 32** mostra els mapes dels cinc paràmetres avaluats (alçada dels arbres, amplada, porositat des de la dreta, porositat des de l'esquerra, secció transversal), per a les tres resolucions de processament, i corresponents a la data dels primer escaneig (22 de juny de 2019). La **Figura 33** mostra aquests mateixos mapes per a la data del segon escaneig (20 de setembre de 2019), en un estadi més desenvolupat del cicle del cultiu. En ambdues **Figures 32 i 33**, es pot observar que quan es compara un mateix paràmetre a diferents resolucions, el patró de distribució espacial és força similar. Així mateix, es pot veure que a mesura que disminueix la resolució (és a dir, a mesura que augmenta la distància sobre la que s'obtenen els paràmetres), els patrons espacials semblen suavitzar-se, concentrant-se els diferents valors en àrees de major dimensió i més ben delimitades. Podríem dir que els mapes adquireixen una estructura de variació més consistent i no tant atomitzada com sí sembla intuir-se en els mapes a resolució de 0,10 m. Una primera conseqüència d'aquest comportament és que la delimitació de zones diferenciades dins la parcel·la resultarà més fàcil de realitzar amb els mapes de menor resolució (0,50 m). La causa que això passi s'explica, sobretot, pel suport (o informació disponible) per obtenir cada mapa. Els mapes a resolució 0,10 m s'han obtingut a partir de la interpolació de 20.239 punts originals (valors del paràmetre vegetatiu cada 10 cm al llarg de la fila), mentre que els mapes a resolució de 0,25 m i 0,50 m, els suport ha estat cada cop menor (8.087 punts i 4.036 punts, respectivament). Aquest fet, a més, explicaria una altra tendència observada que es comenta a continuació

Si s'analitzen més acuradament els valors de llegenda dels mapes, tenint en compte la data d'escaneig i el paràmetre vegetatiu es pot observar el següent:

- En el primer escaneig (**Figura 32**), s'observa que, en la majoria dels paràmetres vegetatius, a mesura que es disminueix la resolució d'estudi, els valors numèrics augmenten. No obstant, aquest fet solament succeeix en els paràmetres geomètrics (amplada, alçada i secció transversal). En canvi, en les porositats ocorre el contrari; quan baixa la resolució, els valors numèrics també disminueixen.
- Pel que fa al segon escaneig (**Figura 33**), passa el mateix que en el primer. Tot i això, es pot observar que els valors dels diferents paràmetres han augmentat respecte el primer escaneig, bàsicament en paràmetres geomètrics. Això era esperable, ja que el segon escaneig correspon a un estadi de major

desenvolupament foliar dels arbres. En canvi, la porositat sembla mantenir-se més o menys constant entre les dues dates d'escaneig.

La tendència a augmentar els valors interpolats (valors de mapa) en els paràmetres geomètrics és lògica. Estant referida la resolució a la distància de fila sobre la que es processa cada cop la informació del sensor LiDAR, a l'augmentar la distància (baixar la resolució), és raonable que augmentin els valors finalment consignats tant de l'alçada, com l'amplada i la secció transversal. Això es pot veure en la **Figura 16** de l'apartat de Material i Mètodes. Per tant, el suport de partida en un i altre mapa variava, no només en el nombre de punts o informació disponible, sinó també en la distribució dels valors numèrics, més desplaçada a valors alts a mesura que baixava la resolució. La influència que això té sobre el mapa és evident.

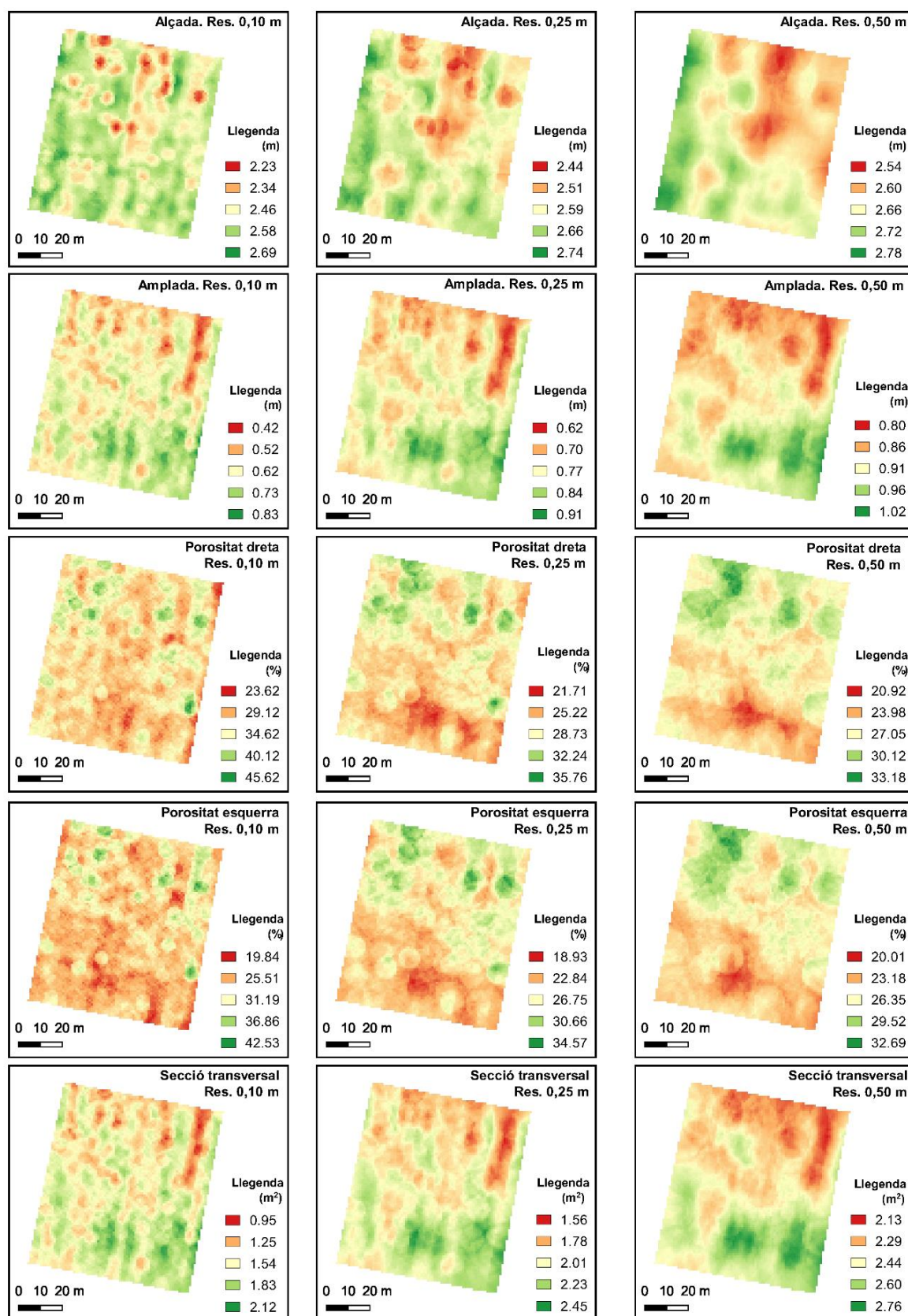


Figura 32: Mapes dels diferents paràmetres vegetatius a les resolucions de 0,10 m; 0,25 m i 0,50 m (22/06/2019)

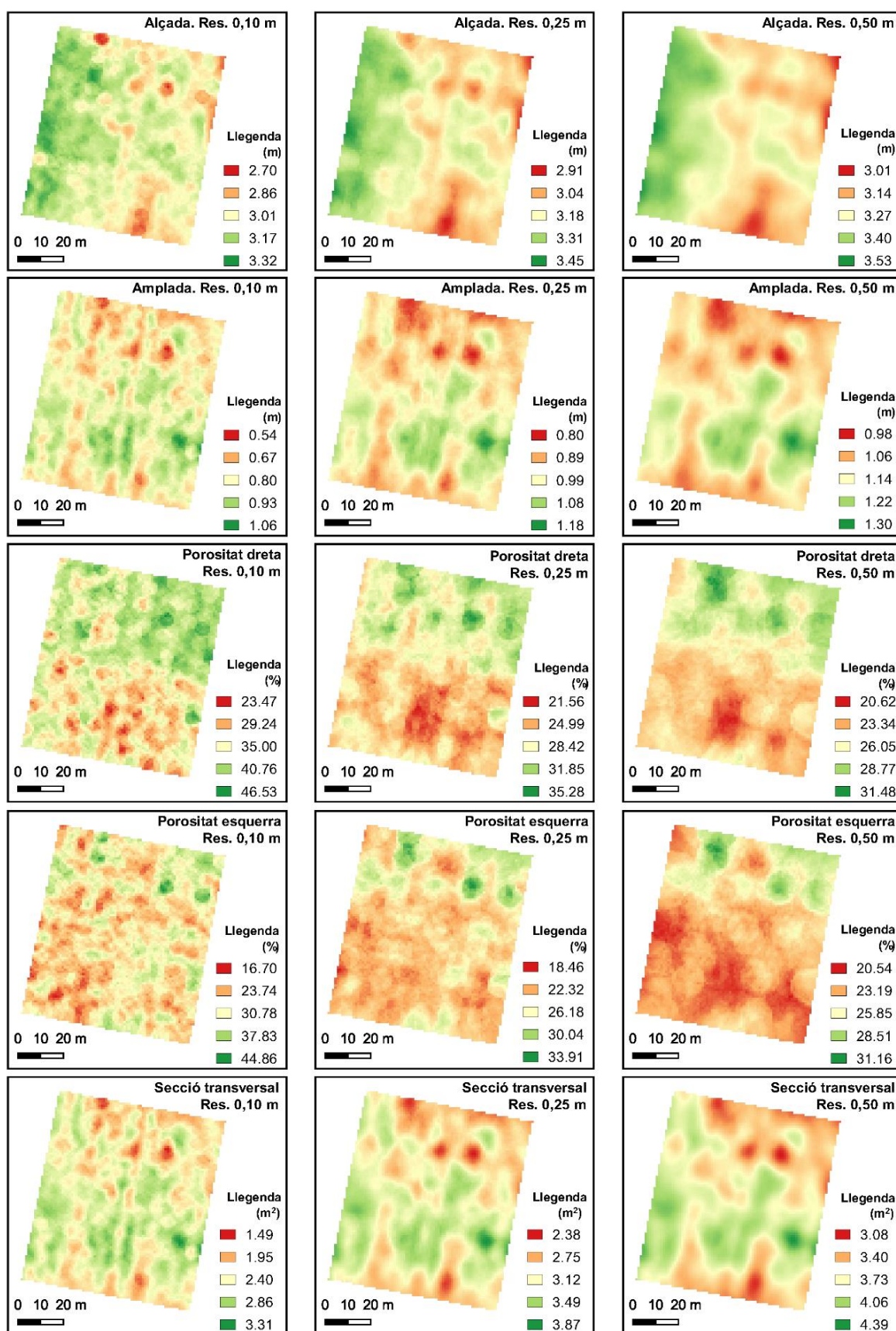


Figura 33: Mapes dels diferents paràmetres vegetatius a les resolucions de 0,10 m; 0,25 m i 0,50 m (20/09/2019)

A continuació, es presenten diferents taules de dades on s'hi indica el model de variograma utilitzat i el valor dels coeficients C_0 , C_1 i A_1 , referents als paràmetres vegetatius obtinguts a diferents resolucions, del primer (22/06/2019) i del segon escaneig (20/09/2019) (**Taula 6**).

Taula 6: Model de variograma utilitzat i valors dels paràmetres C_0 , C_1 i A_1 a les diferents resolucions d'estudi del primer i del segon escaneig

Primer escaneig (22/06/2019)						
Resolució	Paràmetre	Alçada	Amplada	Porositat dreta	Porositat esquerra	Secció transversal
0,10 m	C_0	0,02857	0,02468	348,1	369,4	0,1972
	C_1	0,01588	0,001987	5,249	1,161	0,02107
	A_1	1,638	65,58	7,176	69,10	125,3
	Model variograma	Exponencial	Lineal	Esfèric	Esfèric	Esfèric
0,25 m	C_0	0,02569	0,02435	158,3	160,8	0,2088
	C_1	0,003346	0,003043	5,246	3,293	0,02372
	A_1	80,35	69,64	59,86	54,76	67,64
	Model variograma	Lineal	Lineal	Lineal	Lineal	Lineal
0,50 m	C_0	0,01390	0,01988	115,0	119,4	0,1704
	C_1	0,3920	0,003482	2,250	2,881	0,02841
	A_1	10000	72,06	64,88	54,09	70,51
	Model variograma	Esfèric	Lineal	Esfèric	Lineal	Lineal
Segon escaneig (20/09/2019)						
Resolució	Paràmetre	Alçada	Amplada	Porositat dreta	Porositat esquerra	Secció transversal
0,10 m	C_0	0,04682	0,02929	205,2	272,6	0,3086
	C_1	1,477	0,003108	10,91	441,2	0,05428
	A_1	10000	27,48	60,47	10000	8,031
	Model variograma	Esfèric	Esfèric	Esfèric	Esfèric	Exponencial
0,25 m	C_0	0,03374	0,02750	97,19	110,8	0,3215
	C_1	1,718	0,003312	6,195	9,92	0,06382
	A_1	10000	24,69	55,43	83,71	9,35
	Model variograma	Esfèric	Esfèric	Lineal	Lineal	Exponencial
0,50 m	C_0	0,02547	0,02329	67,20	69,59	0,2882
	C_1	1,928	0,003206	5,885	11,19	0,06833
	A_1	10000	21,04	61,00	86,99	10,81
	Model variograma	Esfèric	Esfèric	Lineal	Lineal	Exponencial

L'Índex de Cambardella es defineix com la relació $C_0/(C_0 + C_1)$. Els valors inferiors a 0,25 són indicatius d'una forta estructura de variació espacial, pròpia de mapes on es distingeixen àrees variables ben delimitades (en altres paraules, mapes amb una distribució espacial que presenta una certa tendència i que mostren, des d'aquest punt de vista, poca aleatorització pel que fa a la distribució del paràmetre en estudi). Si, a més, l'abast del variograma (A_1) és de certa magnitud, probablement les àrees mencionades presentaran també una superfície diferenciada proporcionalment més gran. En canvi, quan l'esmentat índex supera el valor 0,75, l'efecte 'nugget' és considerable, obtenint-se mapes amb una distribució més atomitzada, sent difícil la delimitació nítida de zones de comportament diferenciat.

Analitzant, ara, l'altura dels arbres i els paràmetres corresponents dels variogrames, només els mapes obtinguts a resolució de 0,5 m han presentat una forta estructura espacial en els dos escanejos. Per a les altres resolucions (0,10 m i 0,25 m), l'estructura ha estat més dèbil, amb mapes que presenten una variació important d'aquest paràmetre vegetatiu sobre molt poca distància, tant al llarg com perpendicularment a la fila (cal dir que no ha estat analitzada la presència d'anisotropia en el patró de variació espacial).

Els mapes d'amplada i secció transversal han presentat uns patrons espacials molt similars en les dues dates d'escaneig. Tot i que no es pot considerar un patró fortament estructurat en cap resolució, els millors valors de l'Índex de *Cambardella* s'han obtingut per a la distància de 0,50 m. Això sí, l'abast en el segon escaneig ha presentat valors més baixos (de l'ordre de 25 m per a l'amplada, i 9 m per a la secció transversal).

Finalment, els mapes de porositat, han presentat, també, una estructura espacial més aviat dèbil, sobretot per a les resolucions de 0,10 m i 0,25 m. Però, és destacable que els patrons espacials han estat força diferents quan es comparen les dues porositats (esquerra i dreta) en el segon escaneig. Possiblement, això s'explica pel major abast dels variogrames de la porositat esquerra en comparació a la porositat dreta.

En l'annex 8.2, es poden consultar els mapes i els variogrames respectius.

4.3. Anàlisi comparativa de mapes

Pel que fa al primer escaneig (**Figura 34**), s'observa una forta discordança entre mapes, més accentuada per als paràmetres vegetatius (alçada, amplada i secció transversal). De fet, al referir els valors del mapa a una mateixa llegenda, el mapa per a la resolució 0,10 m mostra una clara diferència respecte els mapes de 0,25 m i 0,50 m, sent aquests últims més similars entre sí per als intervals de classe seleccionats. Pel que fa a les porositats, el comportament és una mica diferent. Si es fa una vista general dels valors dels coeficients kappa obtinguts (**Taula 7**), després de comparar les tres resolucions dos a dos, es pot dir que hi ha una concordança pobra o lleugera ($0 \leq k \leq 0,20$) entre les tres resolucions d'estudi.

La concordança entre mapes realitzats a diferents resolucions és major quan es comparen resolucions mitjanes i baixes que quan s'equiparen resolucions altes i mitjanes, és a dir, els valors del coeficient kappa són majors quan s'examinen les resolucions de 0,25-0,50 m que 0,10-0,25 o 0,10-0,50 m.

Ara bé, si s'analitzen aquests valors més acuradament, estudiant-los comparant un mateix paràmetre a les tres resolucions examinades dos a dos, s'observa el següent:

- Referent a la comparació del paràmetre **alçada**, es constata que la concordança és pobra, ja que els valors obtinguts del coeficient kappa són inferiors a 0.
- Pel que fa a l'**amplada**, la igualtat entre les diferents resolucions és quelcom millor que l'anterior, ja que el coeficient kappa és major o igual que zero.
- En referència a les **porositats**, s'observen variabilitats entre la porositat esquerra i la porositat dreta. Respecte a la porositat dreta, quan és compara una resolució alta (0,10 m) amb una de mitjana (0,25 m) o baixa (0,50 m), la concordança entre els mapes és pobra, ja que els valors del coeficient kappa són inferiors a zero. En canvi, quan es comparen les resolucions de 0,25 m i 0,50 m la similitud entre resolucions és més òptima que anteriorment. Tot i això, la concordança és justa ja que el valor del coeficient kappa és major que 0,21 i menor que 0,40.
- Per altra banda, en quant a la porositat **esquerra**, succeeix quelcom semblant a la porositat **dreta**, però existeix una millor concordança, ja que els valors del coeficient kappa són majors, arribant a tenir una semblança moderada ($0,41 \leq k \leq 0,60$) quan es comparen els mapes obtinguts a les resolucions de 0,25-0,50 m.
- Altrament, observant els valors de la **secció transversal**, es pot veure que ocorre una tendència semblant a l'amplada. Pel que fa a les comparacions de les resolucions 0,10-0,50 m i 0,25-0,50 m, la semblança és lleugera ($0 \leq K \leq 0,20$).

En canvi, quan es comparen les resolucions 0,10-0,25 m, la similitud entre mapes és pobre, ja que el coeficient kappa és inferior a zero.

Cal destacar que en la majoria dels casos el coeficient KLocation mostra uns valors inferiors al coeficient KHisto; fet que contribueix a la disminució dels valors del coeficient kappa final.

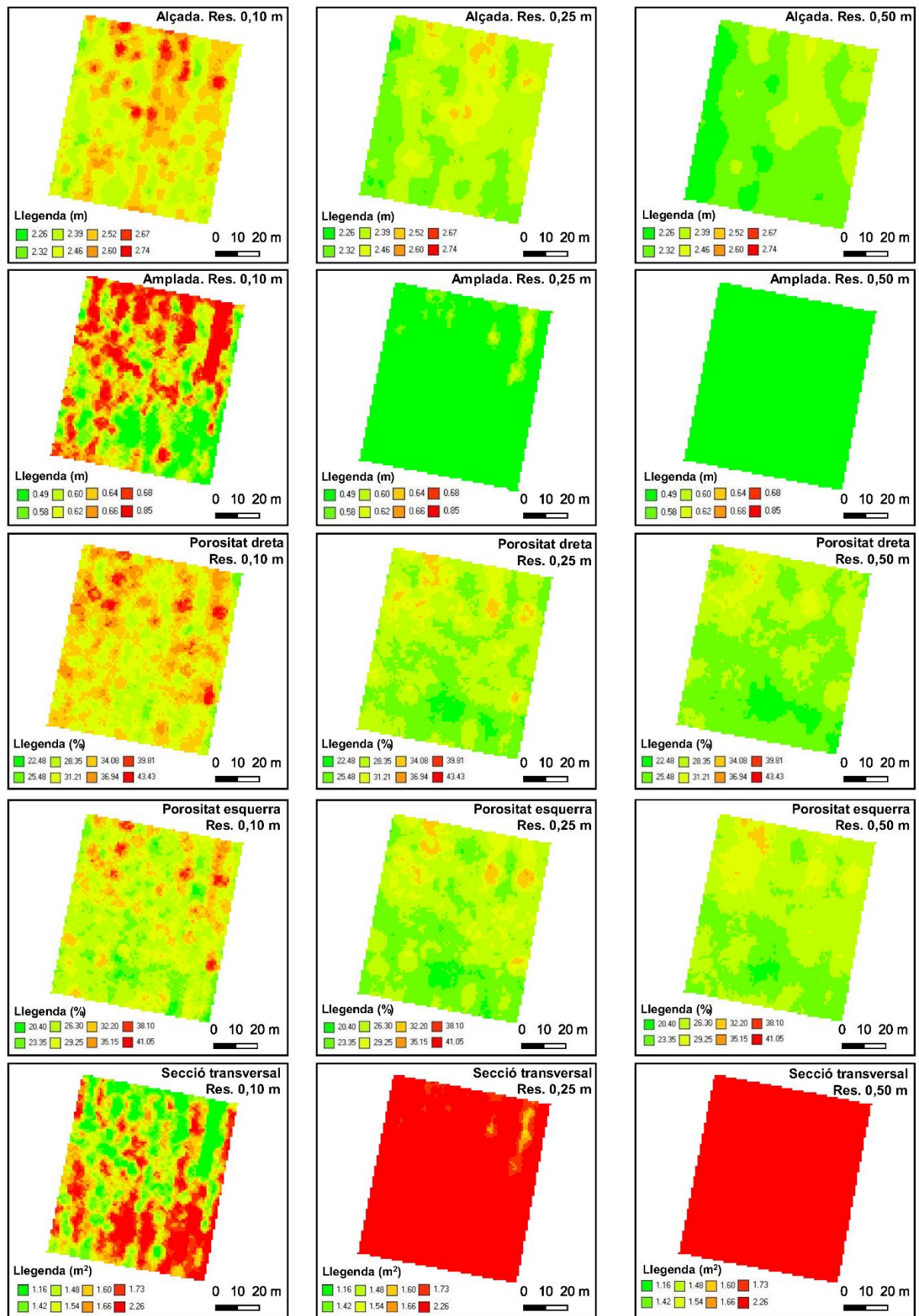


Figura 34: Comparació dels diferents paràmetres vegetatius a les resolucions de 0,10 m; 0,25 m i 0,50 m (22/06/2019)

Taula 7: Valors del coeficients kappa, KHisto i KLocation obtinguts al comparar les resolucions dos a dos del primer i del segon escaneig

Primer escaneig (22/06/2019)						
Resolució (m)	Coeficient	Alçada	Amplada	Porositat dreta	Porositat esquerra	Secció transversal
0,10-0,25	kappa	-0,118	0,001	-0,076	0,046	-0,001
	KHisto	0,290	0,083	0,205	0,595	0,074
	KLocation	-0,407	0,014	-0,371	0,077	-0,008
0,10-0,50	kappa	-0,056	0,000	-0,045	0,042	0,000
	KHisto	0,158	0,000	0,142	0,527	0,000
	KLocation	-0,353	-9999,000	-0,315	0,079	-9999,000
0,25-0,50	Kappa	-0,080	0,000	0,288	0,435	0,000
	KHisto	0,396	0,000	0,676	0,843	0,000
	KLocation	-0,202	-9999,000	0,426	0,516	-9999,000
Segon escaneig (20/09/2019)						
Resolució	Coeficient	Alçada	Amplada	Porositat dreta	Porositat esquerra	Secció transversal
0,10-0,25	kappa	0,003	-0,001	-0,001	-0,013	0,001
	KHisto	0,452	0,112	0,148	0,378	0,056
	KLocation	0,006	-0,011	-0,007	0,035	0,009
0,10-0,50	kappa	-0,002	0,000	-0,000	-0,015	0,000
	KHisto	0,172	0,000	0,008	0,317	0,000
	KLocation	-0,010	-9999,000	-0,011	0,048	-9999,000
0,25-0,50	kappa	0,000	0,000	0,057	0,371	0,000
	KHisto	0,000	0,000	0,085	0,833	0,000
	KLocation	-9999,000	-9999,000	0,0670	0,445	-9999,000

Pel que fa el segon escaneig, (**Figura 35**) es pot observar que, en general, es repeteix la mateixa tendència anterior. És a dir, els mapes a resolució de 0,10 m resulten força discordants dels mapes a resolucions més baixes (0,25 m i 0,50 m). De fet (**Taula 7**) els valors kappa tenen uns valors similars que en el primer escaneig. Per tant, fent una anàlisi global d'aquest segon escaneig, la concordança entre les tres resolucions (0,10-0,25-0,50 m) és pobra o lleugera ($0 \leq k \leq 0,20$).

Igual que en el primer escaneig, si s'avaluen els resultats del coeficient kappa quan es comparen les resolucions dos a dos i sense diferenciar aquests valors en funció del paràmetre vegetatiu, el segon escaneig també presenta millors similituds quan es comparen els mapes a les resolucions 0,25-0,50 m i menor concordança quan s'equiparen les resolucions 0,10-0,25 m i 0,10-0,50 m.

Si s'examina un mateix paràmetre vegetatiu, es pot veure el següent:

- Pel que fa a l'**alçada**, existeix una major similitud quan es comparen els mapes a les resolucions 0,10-0,25 m i 0,25-0,50 m, ja que el valor del coeficient kappa és major. Tot i això, la concordança entre mapes es considera lleugera. En canvi,

quan s'estudia la semblança entre les resolucions 0,10-0,50 m, s'observa que aquesta és pobra, ja que s'obté un valor inferior a zero.

- Referent a l'**amplada**, succeeix gairebé el mateix que amb l'alçada, ja que s'obtenen concordances entre lleugeres i pobres. Ara bé, s'obtenen millors similituds entre les resolucions 0,10-0,50 m i 0,25-0,50 m.
- D'altra banda, les dues **porositats** segueixen la mateixa tendència. A l'estudiar la semblança que hi ha entre mapes a resolució alta (0,10 m) es mostra molta discrepància amb les resolucions mitjana (0,25 m) i baixa (0,50 m).
- No obstant, quan es comparen les resolucions 0,25-0,50 m s'obtenen millors concordances, arribant a ser lleugeres en la **porositat dreta** ($0 \leq k \leq 0,20$) i justa, en la **porositat esquerra** ($0,21 \leq k \leq 0,40$).
- Referent a la **secció transversal**, quan es comparen les tres resolucions dos a dos, la concordança entre mapes és lleugera ($0 \leq k \leq 0,20$).

Com ja s'ha dit anteriorment, la disminució dels valors del coeficient kappa final és deguda a què el coeficient KLocation mostra, sovint, uns valors inferiors al coeficient KHisto.

Així doncs, la concordança entre mapes és bastant baixa en els paràmetres geomètrics (alçada, amplada i secció transversal). En canvi, en els paràmetres estructurals (porositat dreta i esquerra), la similitud entre mapes millora quan es compara una resolució mitjana amb una de baixa (0,25-0,50 m) (veure **Figura 34** i **Figura 35**).

Finalment, cal dir que si s'estudien aquestes semblances de forma global, s'obtenen millors resultats quan es comparen les resolucions 0,25-0,50 m, que quan s'equipara una resolució alta (0,10 m) amb una resolució mitjana (0,25 m) o baixa (0,50 m). Tot i això, aquestes concordances, en general, són baixes. Això és degut al tipus de comparació realitzada, la qual es basa en la comparació d'ambdós, la distribució de valors (píxels) i la seva localització, referits a intervals de classe (valors numèrics). Donada la variació en magnitud dels paràmetres vegetatius segons la resolució utilitzada en la seva obtenció, la concordança entre mapes és poc satisfactòria en base a aquest criteri. La comparació qualitativa, atenent únicament la distribució espacial categoritzada, podria mostrar resultats diferents. Aquesta anàlisi, per al paràmetre 'secció transversal', es mostra en el següent apartat.

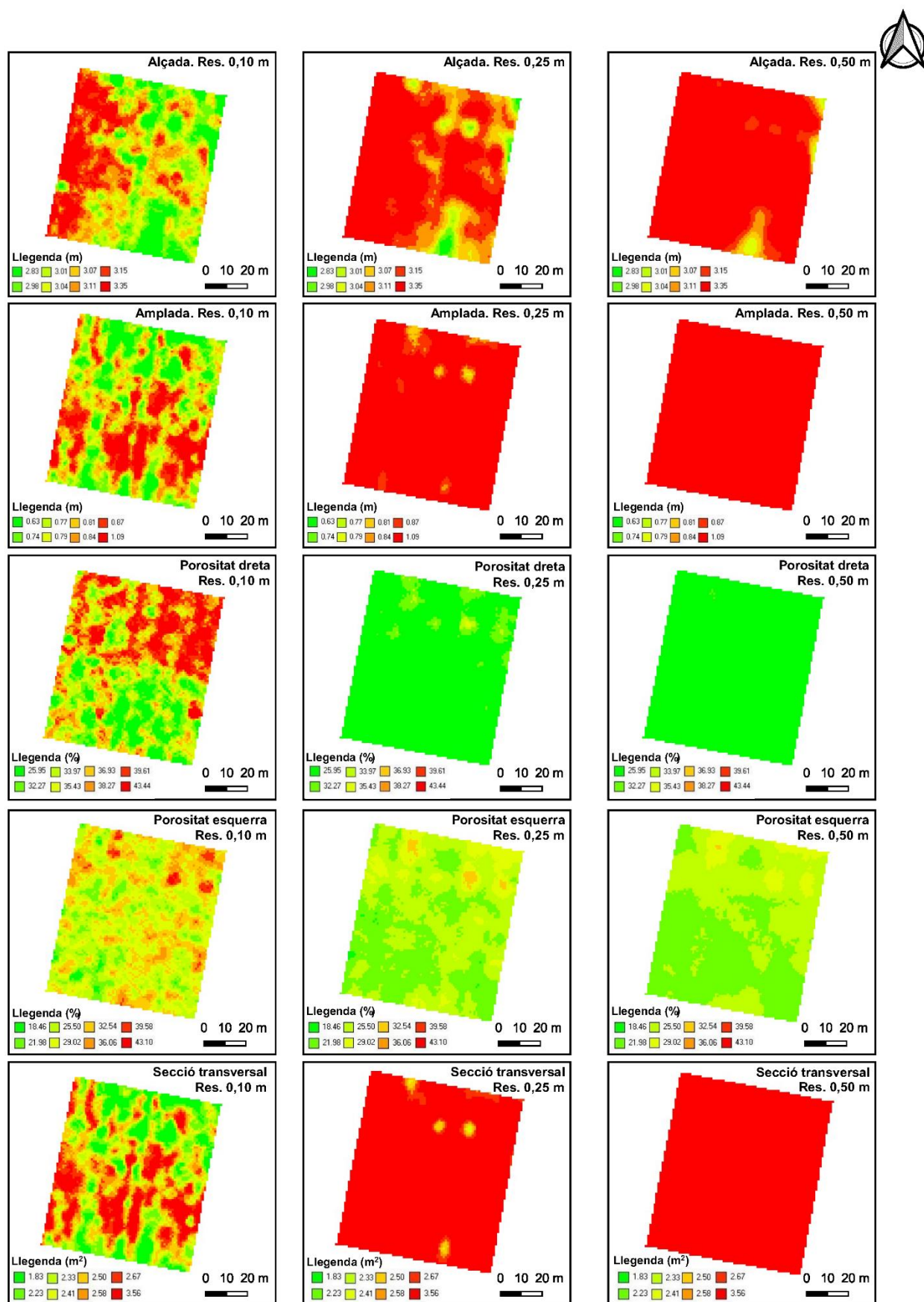


Figura 35: Comparació dels diferents paràmetres vegetatius a les resolucions de 0,10 m; 0,25 m i 0,50 m (20/09/2019)

4.4. Anàlisi clúster i comparació de mapes classificats

L'anàlisi clúster i la comparació de mapes classificats solament s'ha realitzat amb el paràmetre geomètric secció transversal del segon escaneig (20/09/2019). El motiu ha estat la consideració d'aquest paràmetre com al més representatiu de la geometria dels arbres, en un estadi (segon escaneig) de major desenvolupament del dosser foliar.

En la **Figura 36** es pot observar el mapat de la secció transversal per a les tres resolucions avaluades, i els mapes classificats en dues i tres classes. Els valors de classe i el resultat de la comparació d'aquests mapes classificats es mostra correlativament en les Taules 8, 9, 10 i 11. En les **Taules 10 i 11** s'hi exposen els valors de les mitjanes obtingudes d'aquest paràmetre en les tres resolucions d'estudi. Tanmateix, en les **Taules 8 i 9** s'hi mostren els valors del coeficient kappa obtinguts quan es comparen aquests mapes categoritzats.

En relació a la **Figura 36**, es pot veure que el patró de distribució espacial dels píxels és molt similar en les tres resolucions estudiades. També és cert que, en les dues classificacions, el patró se suavitza (no apareixen clústers petits i aïllats) a mesura que es disminueix la resolució.

En termes estadístics, quan els mapes es classifiquen en dues o tres classes, és a dir, classificant els valors en alts, mitjans i baixos, es pot veure que els valors del coeficient kappa són més òptims que quan s'avaluen els valors numèrics d'aquests (quan s'analitzen els valors píxel a píxel), tal i com s'ha vist anteriorment en l'apartat 4.3.

Si s'examinen acuradament els valors del coeficient kappa quan es classifiquen els mapes en dues classes (**Taula 8**), s'observa que existeix una gran concordança entre les tres resolucions d'estudi. Concretament, aquesta similitud és quasi perfecta quan és compara una resolució mitjana amb una de baixa (0,25-0,50 m), ja que el valor del coeficient kappa és major que 0,80. Per altra banda, quan és compara una resolució alta (0,10 m) amb una resolució inferior (0,25 o 0,50 m), aquesta semblança disminueix lleugerament. Tot i això, la concordança entre les resolucions 0,10-0,25 m i 0,10-0,50 m continua sent elevada ($0,61 \leq k \leq 0,80$).

D'altra banda, quan es classifiquen els mapes en tres classes (**Taula 9**), la similitud entre les tres resolucions d'estudi disminueix escassament en relació a la classificació en dues classes. Es pot observar que la tendència és gairebé la mateixa que quan els mapes es classifiquen en dues classes: la similitud entre mapes és inferior quan s'equipara una resolució alta amb una de més baixa (0,25 o 0,50 m). Ara bé, es pot veure que aquesta semblança és més baixa quan s'examina una resolució alta (0,10 m) amb una de molt

més baixa (0,50 m), sent aquesta moderada ($0,41 \leq k \leq 0,60$). Tanmateix, quan s'analitzen les resolucions de 0,10-0,25 m i 0,25-0,50 m la similitud millora substancialment ($0,61 \leq k \leq 0,80$). Així doncs, tenint en compte els resultats de les **Taula 8** i **Taula 9**, existeix una similitud major quan s'analitzen mapes dos a dos tenint en compte la distribució espacial categoritzada dels píxels.

Taula 8: Valors del coeficient kappa. Classificació en dues classes

	RESOLUCIÓ (m)		
	0,10-0,25	0,10-0,50	0,25-0,50
Coeficient kappa	0,74	0,66	0,85

Taula 9: Valors del coeficient kappa. Classificació en tres classes

	RESOLUCIÓ (m)		
	0,10-0,25	0,10-0,50	0,25-0,50
Coeficient kappa	0,67	0,57	0,80

Respecte les **Taula 10** i **Taula 11**, que fan referència als valors alts, mitjans o baixos obtinguts al classificar els mapes en dues o tres classes, es pot veure que quan es duu a terme l'esmentada classificació, els valors numèrics mitjans representatius de cada classe varien. S'aprecia que, a mesura que es disminueix la resolució, aquests valors augmenten. En l'apartat 4.5 es discutiran si aquestes diferències observades són o no significatives.

Taula 10: Mitjana de classes de la secció transversal, en una classificació en dues classes (C1 i C2 m²) a les resolucions d'estudi (0,10 m; 0,25 m i 0,50 m)

CLASSE	RESOLUCIÓ (m)		
	0,10	0,25	0,50
C1	2,64	3,30	3,89
C2	2,24	2,93	3,52

Taula 11: Mitjana de classes de la secció transversal, en una classificació en tres classes (C1, C2 i C3 m²) a les resolucions d'estudi (0,10 m; 0,25 m i 0,50 m)

CLASSE	RESOLUCIÓ (m)		
	0,10	0,25	0,50
C1	2,44	3,12	3,72
C2	2,74	3,39	3,98
C3	2,13	2,84	3,45

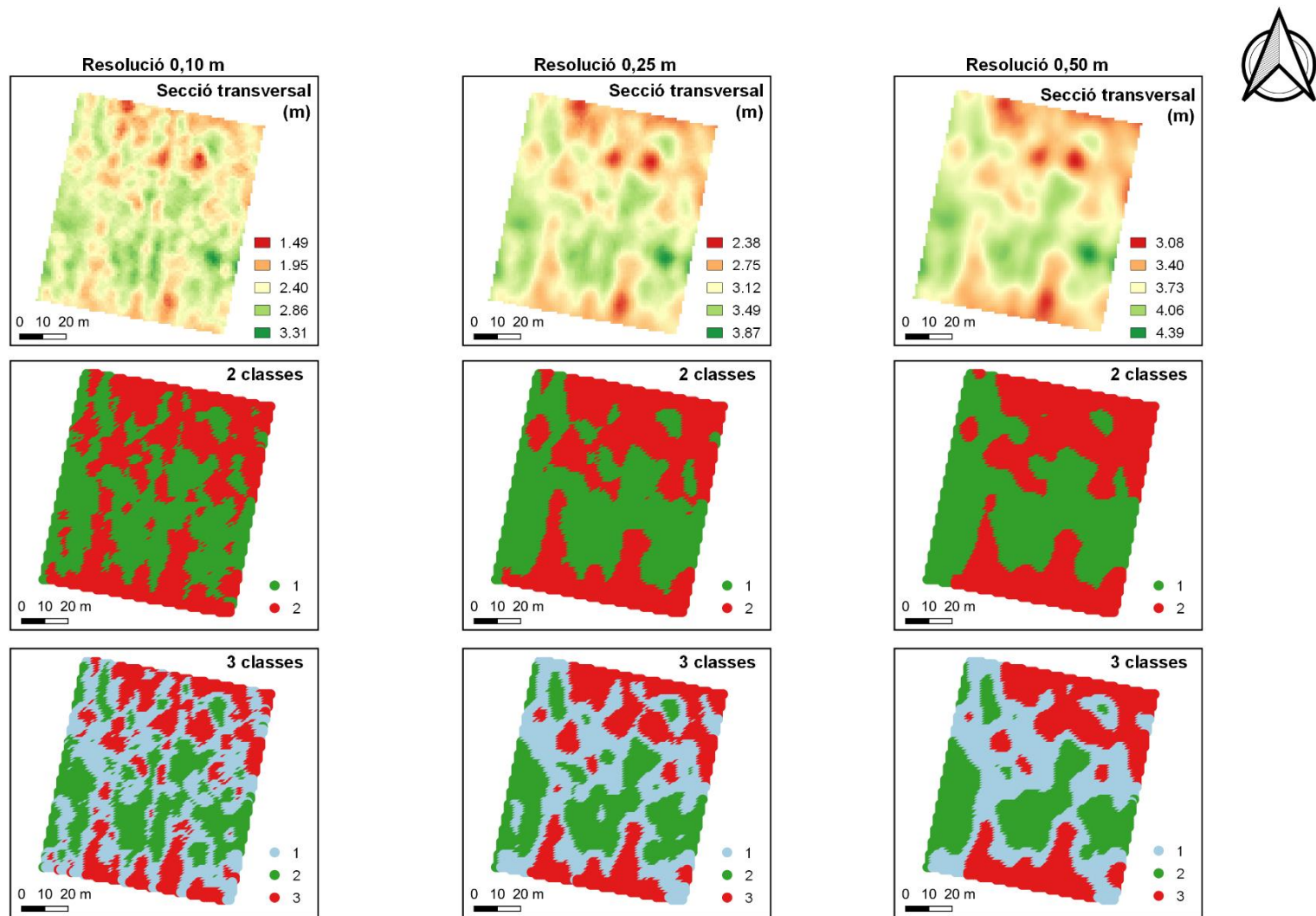


Figura 36: Classificació del paràmetre secció transversal en dues i tres classes (20/09/2019)

4.5. Anàlisi de la variància i patró de distribució

L'anàlisi de la variància ha servit per corroborar si, tal i com es preveia, els valors de la 'secció transversal' són significativament diferents dins cada de classe, quan es comparen els mapes classificats per a les tres resolucions en estudi.

Tot seguit, en les **Taules 12 i 13** es poden observar els resultats obtinguts, després de dur a terme l'anàlisi estadística (ANOVA) quan els mapes es classifiquen en dues (C1 i C2) i tres classes (C1, C2 i C3).

En l'apartat anterior, s'ha observat que quan es classifiquen mapes en dues o tres classes apareixen diferències en els valors numèrics. A continuació, tenint en compte els resultats obtinguts en les **Taules 12 i 13**, es discuteix si aquestes desigualtats són significatives.

En general, tant en la classificació en dues classes com en tres, es pot veure que hi ha diferències significatives entre les tres resolucions (0,10 m; 0,25 m i 0,50 m), amb un p-valor que és, en tots els casos $<0,0001$.

Per altra banda, el test de separació de mitjanes separa individualment cada resolució (hi ha una lletra diferent, A-B-C, en les tres resolucions d'estudi). Aquestes lletres indiquen que les diferències observades dels valors numèrics a l'apartat anterior es poden separar significativament per a cadascuna de les resolucions contrastades.

En definitiva, el resultat combinat de l'anàlisi comparativa entre mapes (coeficient kappa) i l'anàlisi de la variància (ANOVA) dels valors de píxel (valors de classe) és molt clarificador. El processament a diferents resolucions del núvol de punts 3D obtingut amb l'escaneig LiDAR modifica en magnitud els valors georeferenciats de la secció transversal. Això provoca que el mapat d'aquesta informació doni lloc a mapes que, si bé són consistents (similars) pel que fa al patró de distribució espacial, contenen valors interpolats la distribució en magnitud dels quals genera poblacions significativament diferents.

Taula 12: Anàlisi de la variància en una classificació en dues classes

Anàlisi variància (2 classes)				
Classe	Prob>F	Resolució (m)	Separació	Mitjana ST (m ²)
1	<,0001	0,50	A	3,91
	<,0001	0,25	B	3,33
	<,0001	0,10	C	2,65
2	<,0001	0,50	A	3,54
	<,0001	0,25	B	2,93
	<,0001	0,10	C	2,26

Taula 13: Anàlisi de la variància en una classificació en tres classes

Anàlisi variància (3 classes)				
Classe	Prob>F	Resolució (m)	Separació	Mitjana ST (m ²)
1	<,0001	0,50	A	3,73
	<,0001	0,25	B	3,09
	<,0001	0,10	C	2,42
2	<,0001	0,50	A	3,99
	<,0001	0,25	B	3,35
	<,0001	0,10	C	2,74
3	<,0001	0,50	A	3,42
	<,0001	0,25	B	2,83
	<,0001	0,10	C	2,14

4.6. Modelització de mapes a diferents resolucions

La modelització de mapes a diferents resolucions s'ha realitzat pel paràmetre vegetatiu secció transversal del segon escaneig (20/09/2019).

En la **Figura 37** es poden observar les gràfiques obtingudes després de realitzar una anàlisi de regressió. Aquestes permeten observar si es pot predir una resolució a partir d'una altra. La variable que es troba a l'eix de les ordenades fa referència a la variable estimada (o explicada). En canvi, a l'eix de les abscisses hi ha la variable explicativa. A més, en aquesta figura hi ha presents les **Equacions 5, 6 i 7**; a través de les quals s'han obtingut mapes a diferents resolucions a partir d'una resolució original. Aquesta última fa referència a la resolució adquirida amb el codi R, feta amb dades obtingudes amb el sensor LiDAR a camp. En la **Figura 39** es poden observar aquests mapes.

Per altra banda, en la **Taula 14** s'hi poden veure els resultats de comparar els mapes d'una mateixa resolució, obtinguts de diferents formes. És a dir, s'ha realitzat un contrast sobre el pendent de la recta de regressió que relaciona el mapa a una resolució determinada (obtingut a partir del processament LiDAR) amb el mateix mapa obtingut per estimació a partir d'un mapa a resolució més baixa.

A continuació, es fa una discussió dels resultats obtinguts en l'anàlisi de regressió. L'objectiu és comprovar si es poden estimar mapes a diferents resolucions (més altes) a partir d'una resolució original (més baixa), adquirida i processada amb el sensor LiDAR.

Si s'observen, de forma global, els resultats obtinguts en l'anàlisi de regressió, es pot dir que, existeix una correlació significativa, ja que els valors del coeficient de determinació (R^2) són alts i, per tant, això indica que a partir d'una variable (x) es pot predir de forma fiable una altra variable (y). Per altra banda, els valors de l'arrel de l'error quadràtic mitjà (RMSE) són baixos; assenyalen que l'error comès al preveure una variable a partir d'una altra és mínim. Altrament, els resultats del coeficient lineal de correlació (r) són propers a 1, la qual cosa, exhibeix que hi ha una correlació positiva entre les diferents resolucions. Aquest últim coeficient indica que, per exemple, quan en un mapa a una certa resolució, en una zona hi predominen els valors alts, en l'altre mapa a una altra resolució, en aquesta mateixa zona, també hi destacaran els valors elevats. Així mateix, observant els valors de p i F, es pot dir que els tres models han resultat significatius (anàlisi de la variància de la regressió) (**Figura 37**).

Si s'analitzen aquests resultats en més profunditat, estudiant les resolucions dos a dos, es pot veure el següent:

- Quan es vol estimar un mapa a una resolució alta (0,10 m) a partir d'una resolució baixa (0,50 m), s'obté un marge d'error major i, per tant, una correlació menor. Altrament, aquesta correlació augmenta i, en conseqüència, l'error disminueix, quan una resolució alta s'estima a través d'una resolució mitjana (0,25 m). Això, es pot concloure ja que els valors d' R^2 , RMSE i r són pitjors en el primer cas, que en el segon. Concretament, els valors d'aquests paràmetres, en la primera situació són 0,75, 0,13 i 0,86, respectivament. En canvi, en el segon cas són 0,85, 0,098 i 0,92.
- S'obté una gran correlació quan es prediu una resolució mitjana a partir d'una resolució baixa. El valor del coeficient de determinació (R^2) indica que la fiabilitat d'obtenir un mapa a una resolució de 0,25 m a partir d'una de 0,50 m, és gairebé perfecta, ja que aquest valor és molt proper a 1 (0,94) i en conseqüència, l'error que es comet és gairebé menyspreable (RMSE=0,055). A més, la correlació existent entre una resolució i l'altra és molt alta, ja que el valor del coeficient lineal de correlació és gairebé 1, concretament, 0,97. Tot això indica que, a partir d'una resolució de 0,50 m, es pot arribar a explicar el 94% de la variabilitat de la variable 'secció transversal' estimada a una resolució major de 0,25 m.

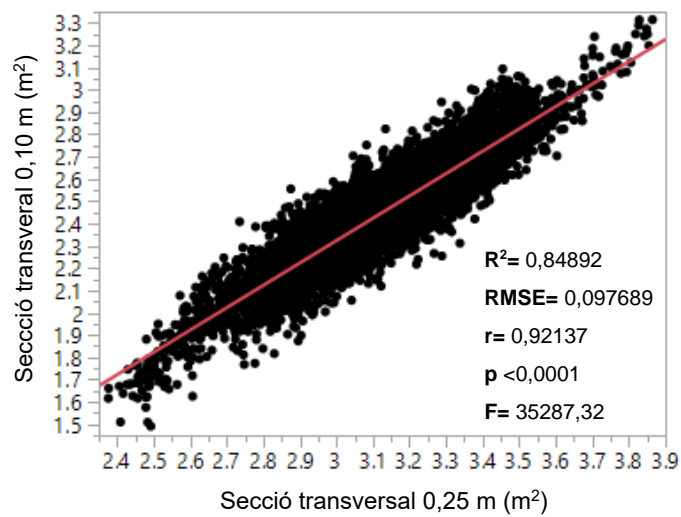
Pel que fa a la validació del procediment, s'ha aplicat, com es deia anteriorment, un contrast sobre el pendent de la recta de regressió entre els mapes de referència (obtinguts originalment amb el codi R a través del sensor LiDAR) i els mapes predits a partir de resolucions més baixes.

Per a que dues variables (X i Y) siguin similars han de tenir una equació de la recta amb un pendent d'un valor igual a 1. En general, observada la **Taula 14**, es pot apreciar que aquests pendents són de valor 1 o molt propers a 1 (els intervals contenen el valor 1 amb una confiança del 95%, **Taula 14**), i per tant, això corrobora que sigui fiable obtenir (estimar) mapes a més alta resolució a partir de mapes a una resolució més baixa (és a dir, processats a baixa resolució a partir de les dades originals del LiDAR).

Taula 14: Contrast del pendent per a l'estimació del paràmetre vegetatiu secció transversal

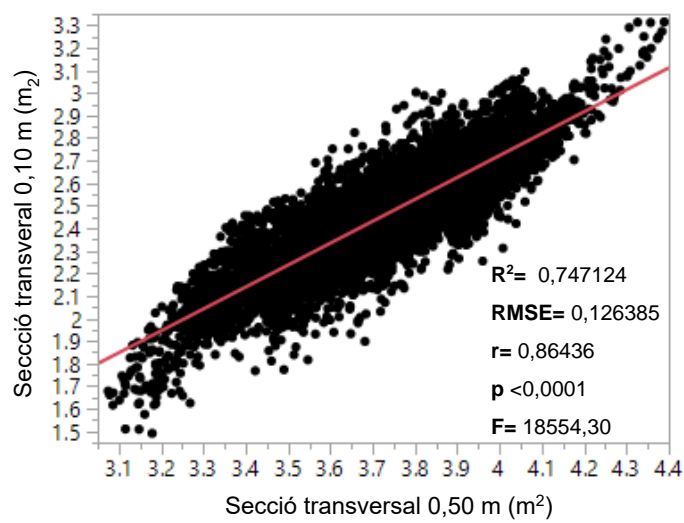
Estimació de paràmetres (Contrast pendent=1)				
Resolució inicial (m)	Resolució obtinguda (m)	Estimació	Extrem inferior de l'IC al 95%	Extrem superior de l'IC al 95%
0,25	0,10	1,0000001	0,9990178	1,0009823
0,50	0,10	1	0,9987285	1,0012714
0,50	0,25	1,0000001	0,999563	1,0004372

En definitiva, és possible obtenir mapes a diferents resolucions a partir de mapes a resolucions més baixes obtinguts aplicant el codi R a les dades adquirides a camp amb el sensor LiDAR. I tot això, amb una fiabilitat, correlació i confiança elevades.



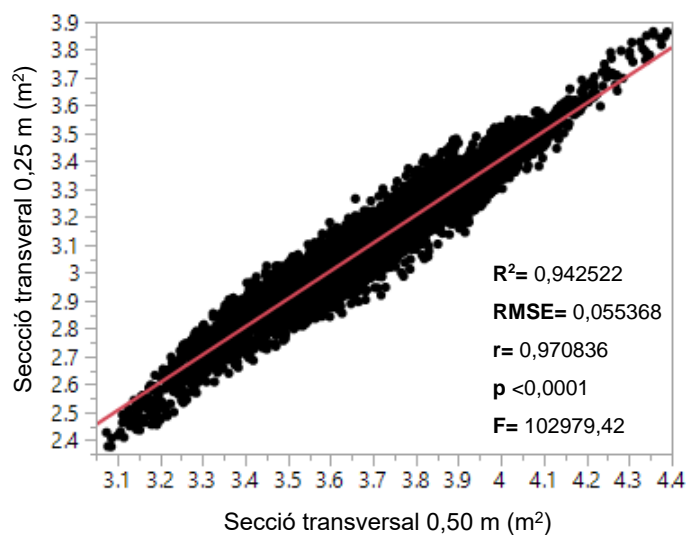
$$\text{Secció}_{0,10_m} = -0,684252 + 1,0026963 \cdot \text{Secció}_{0,25_m}$$

(5)



$$\text{Secció}_{0,10_m} = -1,163728 + 0,971711 \cdot \text{Secció}_{0,50_m}$$

(6)



$$\text{Secció}_{0,25_m} = -0,603791 + 1,0028836 \cdot \text{Secció}_{0,50_m}$$

(7)

Figura 37: Anàlisi de regressió per a mapes a diferents resolucions de processament LiDAR

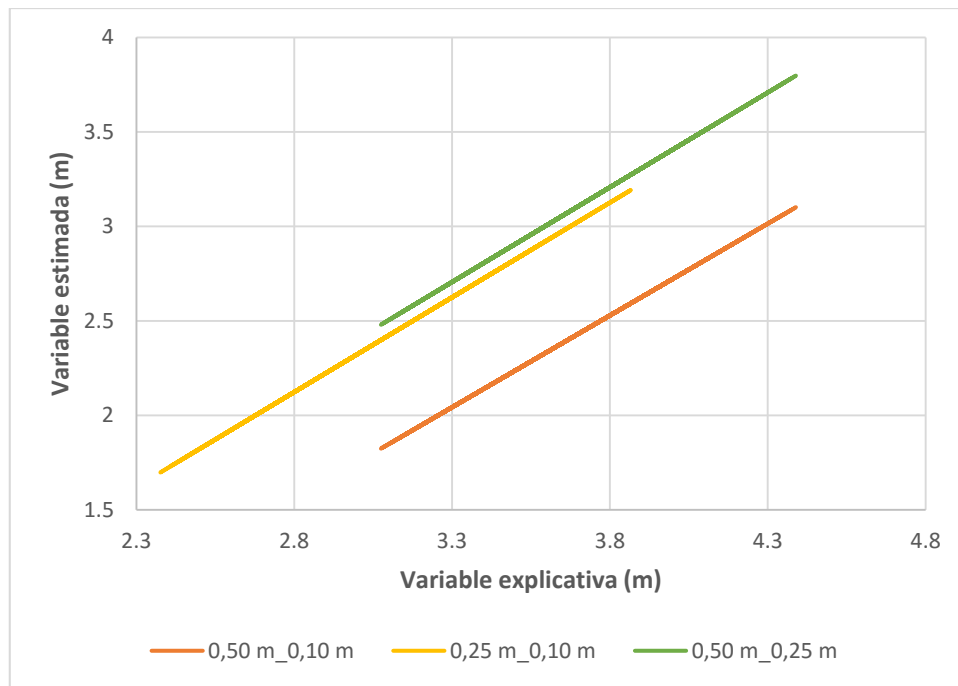


Figura 38: Rectes obtingudes a diferents resolucions de processament LiDAR

En la **Figura 38** es pot observar que les tres rectes, obtingudes mitjançant les equacions 5, 6 i 7, tenen un pendent molt similar, però varien en el valor de l'ordenada a l'origen. Els valors de píxel a 0,10 m són iguals als valors corresponents a 0,50 m (línia taronja) menys 1,163728. En canvi, per obtenir els valors de píxel a 0,10 m, obtinguts a partir d'una resolució de 0,25 m (línia groga), cal restar, aproximadament, 0,68 a aquests últims valors de píxel. Finalment, per aconseguir els valors de píxel a 0,25 m a partir dels de 0,50 m menys 0,603791.

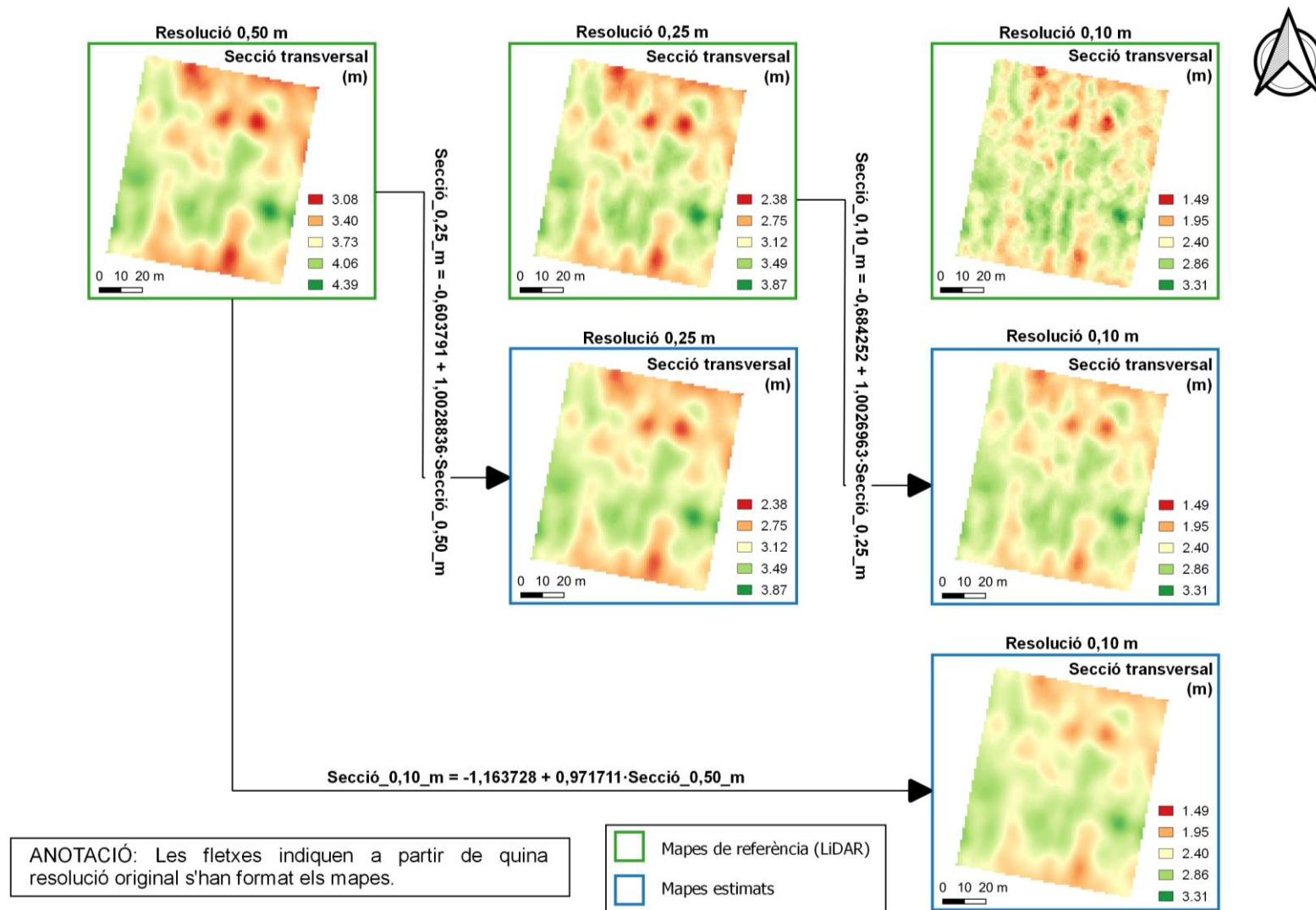


Figura 39: Obtenció de mapes a partir de les resolucions originals de 0,25 i 0,50 m (Secció transversal 20/09/2019)

5. Impacte a curt i mig termini de la tecnologia LiDAR en el sector fructícola

El sensor LiDAR és una eina molt eficient, però encara poc coneguda, en el sector fructícola. No obstant, el seu abaratiment pot afavorir que augmenti el seu interès en utilitzar-la. Permet l'obtenció de núvols de punts en 3D, per després, poder dur a terme la caracterització de diferents paràmetres vegetatius o fer una estimació del rendiment d'una parcel·la o analitzar quin és el fenotip d'una plantació o estudiar quin és l'índex d'àrea foliar de diferents cultius (ametllers, oliveres, vinya...), etc. Tenir informació sobre tots aquests aspectes, serà essencial a l'hora d'optimitzar els recursos disponibles.

Ara bé, per poder analitzar aquests núvols de punts, amb la finalitat d'obtenir uns nous resultats útils, en moltes ocasions, requereix processos llargs i complicats, que no estan a l'abast de l'agricultor ni del tècnic de camp. A més, en moltes ocasions, els resultats que s'obtenen, després d'haver realitzat els processos per poder fer l'anàlisi de dades, poden ser feixucs i costosos d'interpretar.

En relació a l'ús potencial d'aquest sensor dins el món fructícola, cal pensar que la seva gestió ha d'estar en mans d'un grup de recerca professional o d'una empresa que ofereixi aquest servei. És una eina per conèixer millor una determinada parcel·la i poder-hi aplicar els procediments adients per tal d'obtenir uns resultats òptims. Això significa que es tracta d'una eina posada al servei de la pagesia. El pagès, però, no podrà utilitzar-la directament, sinó que ho haurà de deixar en mans de professionals que es dediquin a aquest àmbit. Segurament, una futura automatització podria facilitar-ne el seu ús. Aquesta automatització es podria basar en un sensor que recollís dades a camp i un processat d'aquestes via *cloudcomputing* amb la corresponent supervisió d'un especialista en la matèria i, com a retorn, que l'agricultor o la màquina obtingués un mapa amb els resultats de l'escaneig.

Com es pot veure, la tecnologia LiDAR és una eina amb un ampli ventall d'aplicacions en diferents àmbits del sector agrícola. Per tal d'ampliar la seva aplicació cal donar-la a conèixer en els diferents estudis de l'enginyeria agrícola.

Així, si es vol introduir la tecnologia LiDAR en el món de la fructicultura, requereix que les noves enginyeres i nous enginyers o enginyeres i enginyers tècnics agrícoles tinguin una bona formació referent a aquest camp. Existeixen mancances en el món de les noves tecnologies, i molt concretament, en l'àmbit dels sensors, l'anàlisi de dades, la realització dels mapats i el tractament de la informació. Per superar aquestes deficiències, cal fer difusió d'aquesta tecnologia. La millor manera d'introduir-la, és fent-ho a través del diferents graus d'enginyeria.

Potser es podria començar utilitzant aquest sensor des de la recerca (universitats i centres tecnològics), i així, a través de projectes d'investigació, es podrien adquirir nous coneixements agronòmics per després aplicar-los en el sector fructícol.

Fins i tot, les empreses privades que ofereixen serveis en agricultura, mostren un gran interès en utilitzar aquesta tecnologia. El problema que tenen és que, segurament, podrien comprar el sensor, però el processat de dades encara resultaria molt complex. A més, existeix la dificultat que es necessita molt temps per l'escaneig i el processat de dades de tota una finca amb un sol sensor.

Així, es pot concloure que és de vital importància introduir la tecnologia LiDAR en el sector fructícol perquè ofereix unes bones perspectives de futur, ja que suposa un gran avenç per a l'agricultura.

6. Conclusions

Després d'haver realitzat diversos anàlisis al llarg d'aquest treball experimental s'han pogut treure les següents conclusions:

Pel que fa a la tecnologia LiDAR, l'adquisició i el processament de dades:

- ❖ El sensor LiDAR és una eina que permet caracteritzar el dosser foliar dels arbres (ametllers súper-intensius) a través de l'obtenció de diferents paràmetres vegetatius com són l'alçada dels arbres, l'amplada mitjana màxima, la secció transversal del dosser i la porositat de la capçada.
- ❖ El processament adequat del núvol de punts 3D que proporciona el sensor LiDAR permet obtenir els paràmetres vegetatius esmentats referits a diferents resolucions al llarg de la fila (0,10 m, 0,25 m i 0,50 m).
- ❖ La variació de la resolució longitudinal de processament del núvol 3D condiciona el suport i els valors originals dels paràmetres per al mapat posterior de la informació. En general, els valors dels paràmetres geomètrics (alçada, amplada i secció transversal) augmenten a l'augmentar la distància sobre la que es refereixen al llarg de la fila de la plantació.

Pel que fa al mapat dels paràmetres vegetatius i l'anàlisi de la variabilitat espacial:

- ❖ Els mapes presenten una distribució espacial força similar, independentment de la resolució de processament amb el sensor LiDAR. De tota manera, s'observa una major concordança entre els mapes obtinguts a resolucions més baixes (0,25 m i 0,50 m).
- ❖ Quan es compara un mateix paràmetre vegetatiu a diferents resolucions, tenint en compte els valors numèrics dels píxels, s'ha vist que en els paràmetres geomètrics (alçada, amplada i secció transversal) hi ha poca semblança. En canvi, quan s'analitzen paràmetres estructurals (porositat dreta i porositat esquerra), la similitud entre resolucions és major.
- ❖ A través d'un mapa, a una resolució determinada, format a partir de les dades adquirides en els escanejos de camp amb el sensor LiDAR, i posterior processament del núvol 3D, es pot extreure un altre mapa a una resolució diferent a la inicial, mitjançant una equació que associa ambdós resolucions.

Aquest fet facilita la feina de processament per tal d'obtenir els paràmetres vegetatius a les diferents resolucions.

- ❖ La resolució de processament recomanable es pot establir en els 0,50 m. A partir d'aquest mapa, es pot estimar amb confiança el mateix paràmetre a una resolució de processament més alta, i utilitzar aquest últim mapa quan és necessari conèixer el rang de variació i la variabilitat espacial associada al mateix paràmetre vegetatiu si s'hagués mesurat sobre la fila a major freqüència (resolució).

7. Bibliografia

Agriculture Centre for Precision Agriculture. Vesper User Manual. Vesper 1.6. Universitat de Sydeny. Novembre 2006

AgroES. Estadios fenológicos del almendro. <https://www.agroes.es/cultivos-agricultura/cultivos-frutales-y-fruticultura/almendro/285-almendro-estadios-fenologicos> (01-07-2020)

Andújar, D., Escolà, A., Rosell-Polo, J.R., Fernández-Quintanilla, C., Dorado, J., 2013. Potential of a terrestrial LiDAR-based system to characterise weed vegetation in maize crops. Comput. Electron. Agric. 92, 11-15. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.12.012>

Arnó, J., Escolà, A., Vallès, J.M., Llorens, J., Sanz, R., Masip, J., Palacín, J., Rosell-Polo, J.R., 2013. Leaf area index estimation in vineyards using a ground-based LiDAR scanner. Precis. Agric. 14, 290-306. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9295-0>

Arno, J., Martínez-Casasnovas, J.A., Ribes-Dasi, M., Rosell, J.R., 2011. Análisis cluster de mapas de vendimia para la delimitación de zonas de manejo diferencial. Spanish J. Agric. Res. 9, 721-729. <https://doi.org/10.5424/sjar/20110903-456-10>

del-Moral-Martínez, I., Rosell-Polo, J.R., Company, J., Sanz, R., Escolà, A., Masip, J., Martínez-Casasnovas, J.A., Arnó, J., 2016. Mapping vineyard leaf area using mobile terrestrial laser scanners: Should rows be scanned on-the-go or discontinuously sampled? Sensors (Switzerland) 16. <https://doi.org/10.3390/s16010119>

Fyton (2020). Almendro Laurane Avijor. <http://fyton.es/almendro-lauranne-avijor/> (07-05-2020)

Fyton (2020). Portainjerto GF-677. <http://fyton.es/gf-677/> (08-05-2020)

Gregorio, E., Rosell-Polo, J.R., Sanz, R., Rocabenbosch, F., Solanelles, F., Garcerá, C., Chueca, P., Arnó, J., del Moral, I., Masip, J., Camp, F., Viana, R., Escolà, A., Gràcia, F., Planas, S., Moltó, E., 2014. LIDAR as an alternative to passive collectors to measure pesticide spray drift. Atmos. Environ. 82, 83-93. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.09.028>

Grup de Recerca en AgròTICA i Agricultura de Precisió-GRAP (07-04-2020). <http://www.grap.udl.cat/presentacio/ap.html> (18-06-2020)

Llorens, J., Gil, E., Llop, J., Escolà, A., 2011. Ultrasonic and LIDAR sensors for electronic canopy characterization in vineyards: Advances to improve pesticide application methods. Sensors 11, 2177-2194. <https://doi.org/10.3390/s110202177>

Llorens, J., Rosell, J.R., Sanz, R., Escolà, A., Palacin, J., 2007. Determinació de paràmetres vegetatius amb un sistema lidar terrestre, a partir de la generació de models tridimensionals d'arbres fruiters. V Congrés ICEA.

Rosell, J.R., Llorens, J., Sanz, R., Arnó, J., Ribes-Dasi, M., Masip, J., Escolà, A., Camp, F., Solanelles, F., Gràcia, F., Gil, E., Val, L., Planas, S., Palacín, J., 2009. Obtaining the three-dimensional structure of tree orchards from remote 2D terrestrial LIDAR scanning. *Agric. For. Meteorol.* 149, 1505-1515. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.04.008>

Rosell, J.R., Sanz, R., 2012. A review of methods and applications of the geometric characterization of tree crops in agricultural activities. *Comput. Electron. Agric.* 81, 124-141. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.09.007>

Rosell Polo, J.R., Sanz, R., Llorens, J., Arnó, J., Escolà, A., Ribes-Dasi, M., Masip, J., Camp, F., Gràcia, F., Solanelles, F., Pallejà, T., Val, L., Planas, S., Gil, E., Palacín, J., 2009. A tractor-mounted scanning LIDAR for the non-destructive measurement of vegetative volume and surface area of tree-row plantations: A comparison with conventional destructive measurements. *Biosyst. Eng.* 102, 128-134. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.10.009>

Sanz-Cortiella, R., Llorens-Calveras, J., Escolà, A., Arnó-Satorra, J., Ribes-Dasi, M., Masip-Vilalta, J., Camp, F., Gràcia-Aguilá, F., Solanelles-Batlle, F., Planas-Demartí, S., Pallejà-Cabré, T., Palacin-Roca, J., Gregorio-Lopez, E., Del-Moral-Martínez, I., Rosell-Polo, J.R., 2011. Innovative LIDAR 3D dynamic measurement system to estimate fruit-tree leaf area. *Sensors* 11, 5769-5791. <https://doi.org/10.3390/s110605769>

Sanz, R., Rosell, J.R., Llorens, J., Gil, E., Planas, S., 2013. Relationship between tree row LIDAR-volume and leaf area density for fruit orchards and vineyards obtained with a LIDAR 3D Dynamic Measurement System. *Agric. For. Meteorol.* 171-172, 153-162. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.11.013>

Underwood, J.P., Hung, C., Whelan, B., Sukkarieh, S., 2016. Mapping almond orchard canopy volume, flowers, fruit and yield using lidar and vision sensors. *Comput. Electron. Agric.* 130, 83-96. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.09.014>

8. Annexos

8.1. Codi R

8.1.1. Codi R: Obtenció de paràmetres vegetatius

```
### LIDAR DATA PROCESSING 2019 ###
### LiDAR parameters of crop extraction (height, width,...)

## Process created by Jordi Llorens on: June 2015
## Process improved on: April 2017
## Process improved on: November 2017
## Process improved on: December 2017
## Process improved on: January to June 2018 (Jordi Llorens & Albert Alsina)
## Process improved on: April to July 2018 (Jordi Llorens & Carlos Cabrera)
## Process improved on: January to February 2019 (Jordi Llorens)
## Process improved on: December 2019 (Helena Camats)

# Packages necessaris (Descarregar + Instal.lar + Activar)
# Library("data.table")
library("data.table", lib.loc=~R/win-library/3.5")
# Library("splancs")
library("splancs", lib.loc=~R/win-library/3.5")

ptm <- proc.time()      # Registre el temps inicial

# Import data from file:
## Funció GET WORKING DIRECTORY:
Path<-paste(getwd(),"/",sep = ""); # només funciona si obres des de l'arxiu
estant aquest
# en la carpeta que es vol utilitzar com a treball.

File_ALL<-"FILA 1 long.txt"      # Arxiu amb les dades LIDAR.
File_ALL2<-"Fila 1 analysis_total.csv"      #
Arxiu amb les dades dels ARBRES a analitzar. Cada fila i ha un arbre.

AmpleXlevels<-c(0.1)

for (p in 1:length(AmpleXlevels)){

# Paràmetres d'Anàlisi:
AmpleX<-AmpleXlevels[p] # m      Aquest ample fa referència al tram que ens
interessa analitzar.
Div<-0.1      # alçada de la caixa per l'anàlisi en alçada
AmpleY<-5      # m      Aquesta amplada fa referència a l'Amplada d'anàlisi i ha
d'incloure tota la vegetació?.
AmpleZ<-6      # m      Aquesta amplada fa referència a l'Alçada i ha de
incloure tota la vegetació?.
MinAlçada<-0 # m alçada a partir de la qual volem analitzar (es fa servir la
variable C2M per retallar)
Percentil<-2.5 # % per calcular els percentils (Superior i inferior)
Percentil per calcular els percentils de les amplades i les alçades
Sensor<-2      # Tipe of sensor. 1=Hokuyo, 2=Velodyne
Scan<-1      # Es decideix quin raig es vol analitzar. En cas de tenir més d'un
Scan, pel cas del Velodyne (1 i 14 són els més semblants al raig central). Per
al Hokuyo només hi ha un Scan i és el 0.
PercenPuntsPlot<-0.5 # % de punts de simplificació de gràfiques. Ha de ser
un valor petit si volem anar ràpid (<1%)
PlotTree<-"NO"
PlotResults<-"YES"      # Write "YES" if we want to plot the results.
GuardaDades<-"NO"

PercentilSup<-1-(Percentil/100)
PercentilInf<-(Percentil/100)
```



```

as.numeric(model$coefficients[1])
as.numeric(model$coefficients[2])

AngleRad<-atan(as.numeric(model$coefficients[2])/1)

## Definim aquesta funció que ens servirà més endavant per passar de Polar a
Cartesi per a n-meros.
cart2pol <- function(x, y)
{
  size <- sqrt(x^2 + y^2)
  angle <- atan(y/x)
  c(size,angle)
}

cart2polM <- function(x, y)      # Còmput per a Matrius d'entrada.
{
  size <- sqrt(x^2 + y^2)
  angle <- atan(y/x)
  return(data.frame(size,angle))
}

## Definim aquesta funció que ens servirà més endavant per passar de
Cartesi a Polar:
pol2cart <- function(size, angle)  ### angle in radians. Còmput per a
valors individuals.
{
  x <- cos(angle)*size
  y <- sin(angle)*size
  c(x,y)
}

pol2cartM <- function(size, angle)  ### angle in radians. Còmput per a
matrius d'entrada.
{
  x <- cos(angle)*size
  y <- sin(angle)*size
  return(data.frame(x,y))
}

if (AngleRad>0) {
  datagir_X<-
pol2cartM(cart2polM(data[,1],data[,2])[,1],cart2polM(data[,1],data[,2])[,2]-
AngleRad)[,1];
  datagir_Y<-
pol2cartM(cart2polM(data[,1],data[,2])[,1],cart2polM(data[,1],data[,2])[,2]-
AngleRad)[,2];
  datagir_Z<-data[,3]
} else if (AngleRad<0) {
  datagir_X<-
pol2cartM(cart2polM(data[,1],data[,2])[,1],cart2polM(data[,1],data[,2])[,2]-
AngleRad-pi)[,1];
  datagir_Y<-
pol2cartM(cart2polM(data[,1],data[,2])[,1],cart2polM(data[,1],data[,2])[,2]-
AngleRad-pi)[,2];
  datagir_Z<-data[,3]
}

datagir<-
data.frame(datagir_X,datagir_Y,datagir_Z,data[,4],data[,5],data[,6],data[,7],d
ata[,8],data[,9],data[,10],data[,11])

colnames(datagir)<-colnames(data)      # Es copien els noms de les columnes.

PuntsPlot<-trunc(nrow(datagir)*(PercePuntsPlot/100))
data2 <- datagir[sample(1:nrow(datagir), PuntsPlot,replace=FALSE),]
# Titol2=paste("Analysis of Turned Cloud ",Fila)

```



```

    par(mfrow=c(1,1))
    # plot(DataBox$X,DataBox$Y, asp=1, xlim=c(min(DataBox$X)-
0.5,max(DataBox$X)+0.5), main=rbind(i,"/",Steps), pch='.', xlab="X ", ylab="Y
" )
    # plot(DataBox$X,DataBox$Z, asp=1, xlim=c(min(DataBox$X)-
0.5,max(DataBox$X)+0.5), pch='.', xlab="X ", ylab="Z ", cex=1)
    plot(DataBox$Y,DataBox$Z, asp=1, xlim=c(min(DataBox$Y)-
0.2,max(DataBox$Y)+0.2), cex=2,pch='.', xlab="Y ", ylab="Z " ,col="darkgreen")
    # plot(DataBox$Y,DataBox$Z, asp=1, xlim=c(588972.1-0.2,588973.5+0.2),
cex=2,pch='.', xlab="Y ", ylab="Z " ,col="darkgreen")
    # par(mfrow=c(1,1))
  }

  if (nrow(DataBox)>10){ # Comprovem si hi ha com a mínim 10 dins la caixa,
si no passarem a la seg?ent.
    DataRow[i,3]<-nrow(DataBox) #Points

    #Procediment per fer particions en al?ada.
    DataRowCaixa<-data.frame(0,0)
    colnames(DataRowCaixa)<-c("AmpleMax","Ample90")

    AltMax<-max(DataBox$Z)-min(DataBox$Z)

    nn<-trunc(AltMax/Div)+1 # divisions en al?ada
    k=1;
    for (j in 1:nn){
      LimitInferior<-min(DataBox$Z)+((AltMax/nn)*(j-1))
      LimitSuperior<-min(DataBox$Z)+(AltMax/nn)*j
      DataBox2<-DataBox[which(DataBox$Z>LimitInferior &
DataBox$Z<LimitSuperior),]

      if (nrow(DataBox2)>1){
        DataRowCaixa[k,1]<-max(DataBox2$Y)-min(DataBox2$Y) #AmpleMax
        DataRowCaixa[k,2]<-(quantile(DataBox2$Y, probs =
c(PercentilSup))[[1]])-(quantile(DataBox2$Y, probs = c(PercentilInf))[[1]])
#Ample90

        DataRowArbre[rp,1]<-max(DataBox2$Y)-min(DataBox2$Y) #AmpleMax
        DataRowArbre[rp,2]<-(quantile(DataBox2$Y, probs =
c(PercentilSup))[[1]])-(quantile(DataBox2$Y, probs = c(PercentilInf))[[1]])
#Ample90
        rp<-rp+1
        k<-k+1
        if (PlotTree=="YES"){
          Punt1x<-min(DataBox2$Y)
          Punt2x<-max(DataBox2$Y)
          rect(Punt1x, LimitInferior, Punt2x,
LimitSuperior,col=NULL,border="black",lwd=2) # Plot 6: Nom?s per visualitzar.
          # rect(Punt1x, LimitInferior, Punt2x,
LimitSuperior,col=NULL,border="blue",lwd=2) # Plot 6: Nom?s per visualitzar.
          Punt1x<-quantile(DataBox2$Y, probs = c(PercentilSup))[[1]]
          Punt2x<-quantile(DataBox2$Y, probs = c(PercentilInf))[[1]]
          # rect(Punt1x, LimitInferior, Punt2x,
LimitSuperior,col=NULL,border="red",lwd=2) # Plot 6: Nom?s per visualitzar.
        }
      }
    }

    DataRow[i,4]<-mean(DataRowCaixa$AmpleMax)
    DataRow[i,5]<-mean(DataRowCaixa$Ample90)
    DataRow[i,6]<-sd(DataRowCaixa$AmpleMax)
    DataRow[i,7]<-sd(DataRowCaixa$Ample90)
    DataRow[i,8]<-sd(DataRowArbre$AmpleMax)
    DataRow[i,9]<-AltMax

```

```

    DataRow[i,10]<-(quantile(DataBox$Z, probs = c(PercentilSup))[[1]])-
    (quantile(DataBox$Z, probs = c(PercentilInf))[[1]])

    if (AngleRad>0) {
      DataRow[i,11]<-
      pol2cart(cart2pol(CentreX,CentreY)[1],cart2pol(CentreX,CentreY)[2]+AngleRad)[1]
    };
    DataRow[i,12]<-
    pol2cart(cart2pol(CentreX,CentreY)[1],cart2pol(CentreX,CentreY)[2]+AngleRad)[2]
    };
    } else if (AngleRad<0) {
      DataRow[i,11]<-
      pol2cart(cart2pol(CentreX,CentreY)[1],cart2pol(CentreX,CentreY)[2]+AngleRad+pi)
      [1];
      DataRow[i,12]<-
      pol2cart(cart2pol(CentreX,CentreY)[1],cart2pol(CentreX,CentreY)[2]+AngleRad+pi)
      [2];
    }

    # Other calculations Convex hull:
    hpts <- chull(DataBox[,2],DataBox[,3])
    hpts <- c(hpts, hpts[1])

    if (nrow(DataBox)>1){

      xx<-(DataBox[hpts, ]) #We needs the Splancs package
      Areas<-(areapl(cbind(xx$Y,xx$Z))) # Area in m2
      DataRow[i,13]<-Areas

      if(PlotTree=="YES"){
        # lines(xx$Y,xx$Z,col="blue",lwd=2, lty=2) # Plot, afegim el
        CONVEX HULL al plot.
        ## Podem afegir un rectangle marcant el TRV
        Punt1x<-min(DataBox$Y)
        Punt2x<-max(DataBox$Y)
        Punt1y<-min(DataBox$Z)
        Punt2y<-max(DataBox$Z)
        # rect(Punt1x, Punt1y, Punt2x, Punt2y,col=NULL,border="blue",lwd=2,
        lty=2) # Plot 6: TRV MAX Nom?s per visualitzar.
      }

      } else {
        DataRow[i,13]<-0
      }

      DataRow[i,14]<-sum(DataRowCaixa$AmpleMax)*Div # Càlcul de la secció.
      Suma de tots els requadres (en m2)
      DataRow[i,15]<-sum(DataRowCaixa$Ample90)*Div # Càlcul de la secció.
      Suma de tots els requadres (en m2)
      DataRow[i,16]<-sum(DataRowCaixa$AmpleMax)*Div*AmpleX # Càlcul Volum
      d'aquella secció (en m3).
      DataRow[i,17]<-sum(DataRowCaixa$Ample90)*Div*AmpleX # Càlcul volum
      d'aquella secció (en m3).
      DataRow[i,18]<-Fila

      # Calcul porositat sempre que tinguem punts a la caixa.

      DataBoxCarrerE<-DataBox[which(DataBox$CARRER==min(DataBox$CARRER)),]
      # Separem punts de l'esquerra.
      DataBoxCarrerD<-DataBox[which(DataBox$CARRER==max(DataBox$CARRER)),]
      # Separem punts de la dreta
      # hist(DataBoxCarrerD$SCAN)
      # summary(DataBoxCarrerE)

      #CALCULEM PUNTS POTENCIALS

      if (Sensor==1){

```

```

# PuntsE<-
(length(unique((DataBoxCarrerE$SCAN))))*((max(DataBoxCarrerE$ANGLE)-
min(DataBoxCarrerE$ANGLE))/((0.25/180)*pi)) # Angle Hokuyo 0.25
**Atenció si s'analitzen files molt llargues amb moltes repeticions.
PuntsE<-
(length(unique((DataBoxCarrerE$SCAN))))*((max(DataBoxCarrerE$ANGLE)-
min(DataBoxCarrerE$ANGLE))/0.25) # Angle Hokuyo 0.25 **Atenció si
s'analitzen files molt llargues amb moltes repeticions.
} else if (Sensor==2){
PuntsE<-
(length(unique((DataBoxCarrerE$SCAN))))*((max(DataBoxCarrerE$ANGLE)-
min(DataBoxCarrerE$ANGLE))/((0.2/180)*pi)) # Angle Velodyne 0.2
**Atenció si s'analitzen files molt llargues amb moltes repeticions.
}
print(PuntsE)

if (Sensor==1){
PuntsD<-
(length(unique((DataBoxCarrerD$SCAN))))*((max(DataBoxCarrerD$ANGLE)-
min(DataBoxCarrerD$ANGLE))/((0.25/180)*pi)) # Angle Hokuyo 0.25
**Atenció si s'analitzen files molt llargues amb moltes repeticions.
PuntsD<-
(length(unique((DataBoxCarrerD$SCAN))))*((max(DataBoxCarrerD$ANGLE)-
min(DataBoxCarrerD$ANGLE))/0.25) # Angle Hokuyo 0.25 **Atenció si
s'analitzen files molt llargues amb moltes repeticions.
} else if (Sensor==2){
PuntsD<-
(length(unique((DataBoxCarrerD$SCAN))))*((max(DataBoxCarrerD$ANGLE)-
min(DataBoxCarrerD$ANGLE))/((0.2/180)*pi)) # Angle Velodyne 0.2
**Atenció si s'analitzen files molt llargues amb moltes repeticions.
}
print(PuntsD)

PorositatE<-100-(nrow(DataBoxCarrerE)/PuntsE)*100
DataRow[i,19]<-PorositatE
print(PorositatE)
PorositatD<-100-(nrow(DataBoxCarrerD)/PuntsD)*100
DataRow[i,20]<-PorositatD
print(PorositatD)

DataAtenuacioD[i,1]<-(PuntsD)

if(PlotTree=="YES"){
par(mfrow=c(1,4))
plot(DataBoxCarrerE$X,DataBoxCarrerE$Y, asp=1, xlim=c(min(DataBox$X)-
0.5,max(DataBox$X)+0.5), pch='.', xlab="X ", ylab="Y ")
points(DataBoxCarrerD$X,DataBoxCarrerD$Y, asp=1, pch='.', xlab="X ",
ylab="Y " ,col="blue")
}

Recorregut<-2 # en metres
Divcada<-0.1 #en metres
Passos<-trunc(Recorregut/Divcada)

# Fem el procés pels punts de l'esquerra.

for (rr in 1:Passos){
LimitSuperiorE<-max(DataBoxCarrerE$Y)-(Divcada)*(rr-1)
LimitInferiorE<-max(DataBoxCarrerE$Y)-(Divcada*rr)

PuntsAE<-DataBoxCarrerE[which(DataBoxCarrerE$Y<LimitSuperiorE &
DataBoxCarrerE$Y>LimitInferiorE),]
DataAtenuacioE[i,rr]<-nrow(PuntsAE)

if(PlotTree=="YES"){
rect(min(DataBoxCarrerE$X), LimitInferiorE, max(DataBoxCarrerE$X),
LimitSuperiorE,col=NULL,border="green",lwd=1) # Plot 6: Nom?s per visualitzar.

```

```

    }
  }

  if(PlotTree=="YES"){
    plot(t(DataAtenuacioE[i,]), main="Esquerra", cex=2, pch=20)
    lines(t(DataAtenuacioE[i,]), type="l", lty=2)
  }

  # Fem el procés pels punts de l'esquerra.

  if(PlotTree=="YES"){
    plot(DataBoxCarrerE$X, DataBoxCarrerE$Y, asp=1, xlim=c(min(DataBox$X)-
0.5, max(DataBox$X)+0.5), pch='.', xlab="X ", ylab="Y ")
    points(DataBoxCarrerD$X, DataBoxCarrerD$Y, asp=1, pch='.', xlab="X ",
ylab="Y ", col="blue")
  }

  for (rr in 1:Passos){
    LimitInferiorD<-min(DataBoxCarrerD$Y)+(Divcada)*(rr-1)
    LimitSuperiorD<-min(DataBoxCarrerD$Y)+(Divcada*rr)

    PuntsAD<-DataBoxCarrerD[which(DataBoxCarrerD$Y<LimitSuperiorD &
DataBoxCarrerD$Y>LimitInferiorD),]
    DataAtenuacioD[i,rr]<-nrow(PuntsAD)

    if(PlotTree=="YES"){
      rect(min(DataBoxCarrerD$X), LimitInferiorD, max(DataBoxCarrerD$X),
LimitSuperiorD, col=NULL, border="green", lwd=1) # Plot 6: Nom?s per visualitzar.
    }
  }

  if(PlotTree=="YES"){
    plot(t(DataAtenuacioD[i,]), main="Dreta", cex=2, pch=20, col="blue")
    lines(t(DataAtenuacioD[i,]), type="l", lty=2, col="blue")
  }

  if(PlotTree=="YES"){
    par(mfrow=c(1,1))
    plot(DataBoxCarrerE$Y, DataBoxCarrerE$Z, asp=1, xlim=c(min(DataBox$Y)-
0.5, max(DataBox$Y)+0.5), pch='.', xlab="Y (m)", ylab="Z (m) ")
    points(DataBoxCarrerD$Y, DataBoxCarrerD$Z, asp=1, pch='.', xlab="",
ylab="", col="blue")
  }

} else {
  DataRow[i,]<-c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)
  DataRow[i,1]<-CentreX
  DataRow[i,2]<-CentreY
  DataRow[i,18]<-Fila
  DataRow[i,19]<-100
  DataRow[i,20]<-100

  DataAtenuacioE[i,]<-c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)
  DataAtenuacioD[i,]<-c(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)
}

}

if (PlotResults=="YES"){
  par(mfrow=c(3,1))
  # plot(DataRow$CentreX, DataRow$Points, type="l", main="Points", xlab="X
Coordinate in m (turned)",
  # ylab="Points number" )
  plot(DataRow$CentreXGir, DataRow$Ample90, type="l", main="Width",
ylim=c(0, max(DataRow$Ample90)),
  xlab="X Coordinate in m (turned)",

```

```

        ylab="Width in m" )
    plot(DataRow$CentreXGir,DataRow$Alt90,type="l",main="Height",
ylim=c(0,max(DataRow$Alt90)),
        xlab="X Coordinate in m (turned)",
        ylab="Height in m" )

    plot(DataRow$CentreXGir,DataRow$S_CHULL,type="l",main="Seccions",
        xlab="X Coordinate in m (turned)",
        ylab="Secci? m2" , ylim=c(0,6), col="green")
    legend("topright", inset=c(0,0),
c("S_CHULL","S_AmpleMax","S_Ample90"),
        bty="n", fill=c("green","blue","red"), cex=0.85)

    lines(DataRow$CentreXGir,DataRow$S_AmpleMax,lty=1, col="blue")
    lines(DataRow$CentreXGir,DataRow$S_Ample90,lty=1, col="red")

    par(mfrow=c(3,1))

plot(DataRow$CentreXGir,DataRow$PorositatE,type="l",main="PorositatE",ylim=c(0
,100),
        xlab="X Coordinate in m (turned)",
        ylab="%" )

plot(DataRow$CentreXGir,DataRow$PorositatD,type="l",main="PorositatD",ylim=c(0
,100),
        xlab="X Coordinate in m (turned)",
        ylab="%" )

    plot(DataRow$CentreXGir,DataRow$S_CHULL,type="l",main="Seccions",
        xlab="X Coordinate in m (turned)",
        ylab="Secci? m2" , ylim=c(0,6), col="green")
    legend("topright", inset=c(0,0), c("S_CHULL","S_AmpleMax","S_Ample90"),
        bty="n", fill=c("green","blue","red"), cex=0.85)

    lines(DataRow$CentreXGir,DataRow$S_AmpleMax,lty=1, col="blue")
    lines(DataRow$CentreXGir,DataRow$S_Ample90,lty=1, col="red")
}

DataRow1<-0
DataRow1<-data.frame(DataRow$CentreX, DataRow$CentreY,
r,AmpleX,Div,factor(arbres$Poda[r]), factor(arbres$Paclo[r]),
DataRow$Nuvol,DataRow$AmpleMax,DataRow$Ample90,DataRow$DVAmpleMax,DataRow$DVAm
ple90,DataRow$DVATotal,

DataRow$AltMax,DataRow$Alt90,DataRow$S_CHULL,DataRow$S_AmpleMax,DataRow$S_Ampl
e90,DataRow$PorositatE,DataRow$PorositatD)
colnames(DataRow1)<-
c("X","Y","Arbre","Div1","Div2","TREAT1","TREAT2","Fila","AmpleMax","Ample90",
"DVAmpleMax","DVAmple90","DVATotal","AltMax","Alt90",

"S_CHULL","S_AmpleMax","S_Ample90","PorositatE","PorositatD")

colnames(DataExport)<-
c("X","Y","Arbre","Div1","Div2","TREAT1","TREAT2","Fila","AmpleMax","Ample90",
"DVAmpleMax","DVAmple90","DVATotal","AltMax","Alt90",

"S_CHULL","S_AmpleMax","S_Ample90","PorositatE","PorositatD")
DataExport<-rbind(DataExport,DataRow1)

DataRow2<-data.frame(DataRow$CentreX, DataRow$CentreY,r)
DataRow3<-cbind(DataRow2,DataAtenuacioE,DataAtenuacioD)
DataExportAten<-rbind(DataExportAten,DataRow3)

} # IMPORTANT AQUÍ ACABA BUCLE PRINCIPAL

if (GuardaDades=="YES"){

```

```

# Export Data ####
#Export data. Crop Parameters File
File<-paste("ExportData1_",AmpleX,"X",Div,File_ALL,sep="")
PathFile_ALL<-paste(Path,File,sep = "")
write.table(DataExport, PathFile_ALL, sep="\t", dec=".", row.names = FALSE,
col.names=TRUE)
}

### Export data. Atenuacio LiDAR
# File<-paste("ExportAten_",AmpleX,"X",Div,File_ALL,sep="")
# PathFile_ALL<-paste(Path,File,sep = "")
# write.table(DataExportAten, PathFile_ALL, sep="\t", dec=".", row.names =
FALSE, col.names=TRUE)

# Mostra el temps que ha trigat a fer el procediment.
proc.time() - ptm

}

# CLOUD2<-CLOUD
#
# options(digits=3)
# CLOUD2$X<-round(CLOUD2$X-min(CLOUD$X), digits=3)
# CLOUD2$Y<-round(CLOUD2$Y-min(CLOUD$Y), digits=3)
# CLOUD2$Z<-round(CLOUD2$Z-min(CLOUD$Z), digits=3)
#
#
# fwrite(CLOUD, "CLOUD.TXT", sep = " ", dec = ".",
#         row.names = FALSE, col.names = TRUE)
#
# fwrite(CLOUD2, "CLOUD2.TXT", sep = " ", dec = ".",
#         row.names = FALSE, col.names = TRUE)
#

```

8.1.2. Codi R: Obtenció d'un únic fitxer

```
# Codi per processar les dades resultat LiDAR de totes els arxius:
# PROGRAMMER: Jordi Llorens i Helena Camats
# DATE: 03-03-2020

# Llegim els arxius de la carpeta
NomsArxius<-list.files(pattern = "ExportData1")
AllData <-data.frame(0)
# colnames (AllData)<-c("date","value")

AllData <- AllData[-1,]

for (rr in 1:length(NomsArxius)){
  File_ALL<-NomsArxius[rr]
  print(File_ALL)

  # Import data from file:
  ## FunciT WORKING DIRECTORY:
  Path<-paste(getwd(),"/",sep = ""); # nom funciona si obres des de
  l'arxiu estant aquest
  # en la carpeta que es vol utilitzar com a treball.

  PathFile_ALL<-paste(Path,File_ALL,sep = "")

  # Read CSV into R
  MyData <- read.csv(file=PathFile_ALL, header=TRUE, sep="\t")
  AllData<-rbind.data.frame (AllData,MyData)

}

summary (AllData)

AllDataFilt<-AllData[which (AllData$X>0 & AllData$Y>0),]

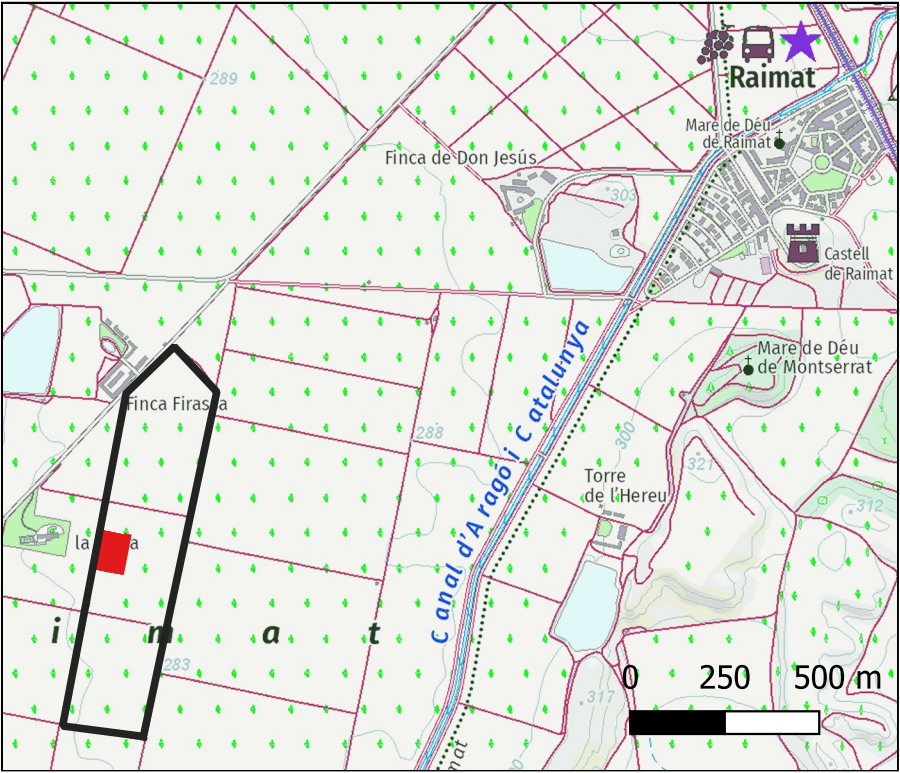
ArxiuDeSortida<-"data_2019-06-22_SCAN.txt"
#
# ### Export data.
File<-paste (ArxiuDeSortida,"",sep="")
PathFile_ALL<-paste (Path,File,sep = "")
write.table (AllData, PathFile_ALL, sep="\t", dec=".", row.names =
FALSE, col.names=TRUE)
#
```




8.2. Mapes

1. Situació àrea d'estudi.
2. Altures i variogrames a les resolucions de 0,10-0,25-0,50 m (22/06/2019).
3. Amplades i variogrames a les resolucions de 0,10-0,25-0,50 m (22/06/2019).
4. Porositats dretes i variogrames a les resolucions de 0,10-0,25-0,50 m (22/06/2019).
5. Porositats esquerres i variogrames a les resolucions de 0,10-0,25-0,50 m (22/06/2019).
6. Seccions transversals i variogrames a les resolucions de 0,10-0,25-0,50 m (22/06/2019).
7. Altures i variogrames a les resolucions de 0,10-0,25-0,50 m (20/09/2019).
8. Amplades i variogrames a les resolucions de 0,10-0,25-0,50 m (20/09/2019).
9. Porositats dretes i variogrames a les resolucions de 0,10-0,25-0,50 m (20/09/2019).
10. Porositats esquerres i variogrames a les resolucions de 0,10-0,25-0,50 m (20/09/2019).
11. Seccions transversals i variogrames a les resolucions de 0,10-0,25-0,50 m (20/09/2019).
12. Comparació alçades i diagrames de caixa a les resolucions de 0,10-0,25 m (22/06/2019).
13. Comparació alçades i diagrames de caixa a les resolucions de 0,10-0,50 m (22/06/2019).
14. Comparació alçades i diagrames de caixa a les resolucions de 0,25-0,50 m (22/06/2019).
15. Comparació amplades i diagrames de caixa a les resolucions de 0,10-0,25 m (22/06/2019).
16. Comparació amplades i diagrames de caixa a les resolucions de 0,10-0,50 m (22/06/2019).
17. Comparació amplades i diagrames de caixa a les resolucions de 0,25-0,50 m (22/06/2019).
18. Comparació porositats dretes i diagrames de caixa a les resolucions de 0,10-0,25 m (22/06/2019).
19. Comparació porositats dretes i diagrames de caixa a les resolucions de 0,10-0,50 m (22/06/2019).
20. Comparació porositats dretes i diagrames de caixa a les resolucions de 0,25-0,50 m (22/06/2019).

21. Comparació porositats esquerres i diagrames de caixa a les resolucions de 0,10-0,25 m (22/06/2019).
22. Comparació porositats esquerres i diagrames de caixa a les resolucions de 0,10-0,50 m (22/06/2019).
23. Comparació porositats esquerres i diagrames de caixa a les resolucions de 0,25-0,50 m (22/06/2019).
24. Comparació seccions transversals i diagrames de caixa a les resolucions de 0,10-0,25 m (22/06/2019).
25. Comparació seccions transversals i diagrames de caixa a les resolucions de 0,10-0,50 m (22/06/2019).
26. Comparació seccions transversals i diagrames de caixa a les resolucions de 0,25-0,50 m (22/06/2019).
27. Comparació alçades i diagrames de caixa a les resolucions de 0,10-0,25 m (20/09/2019).
28. Comparació alçades i diagrames de caixa a les resolucions de 0,10-0,50 m (20/09/2019).
29. Comparació alçades i diagrames de caixa a les resolucions de 0,25-0,50 m (20/09/2019).
30. Comparació amplades i diagrames de caixa a les resolucions de 0,10-0,25 m (20/09/2019).
31. Comparació amplades i diagrames de caixa a les resolucions de 0,10-0,50 m (20/09/2019).
32. Comparació amplades i diagrames de caixa a les resolucions de 0,25-0,50 m (20/09/2019).
33. Comparació porositats dretes i diagrames de caixa a les resolucions de 0,10-0,25 m (20/09/2019).
34. Comparació porositats dretes i diagrames de caixa a les resolucions de 0,10-0,50 m (20/09/2019).
35. Comparació porositats dretes i diagrames de caixa a les resolucions de 0,25-0,50 m (20/09/2019).
36. Comparació porositats esquerres i diagrames de caixa a les resolucions de 0,10-0,25 m (20/09/2019).
37. Comparació porositats esquerres i diagrames de caixa a les resolucions de 0,10-0,50 m (20/09/2019).
38. Comparació porositats esquerres i diagrames de caixa a les resolucions de 0,25-0,50 m (20/09/2019).

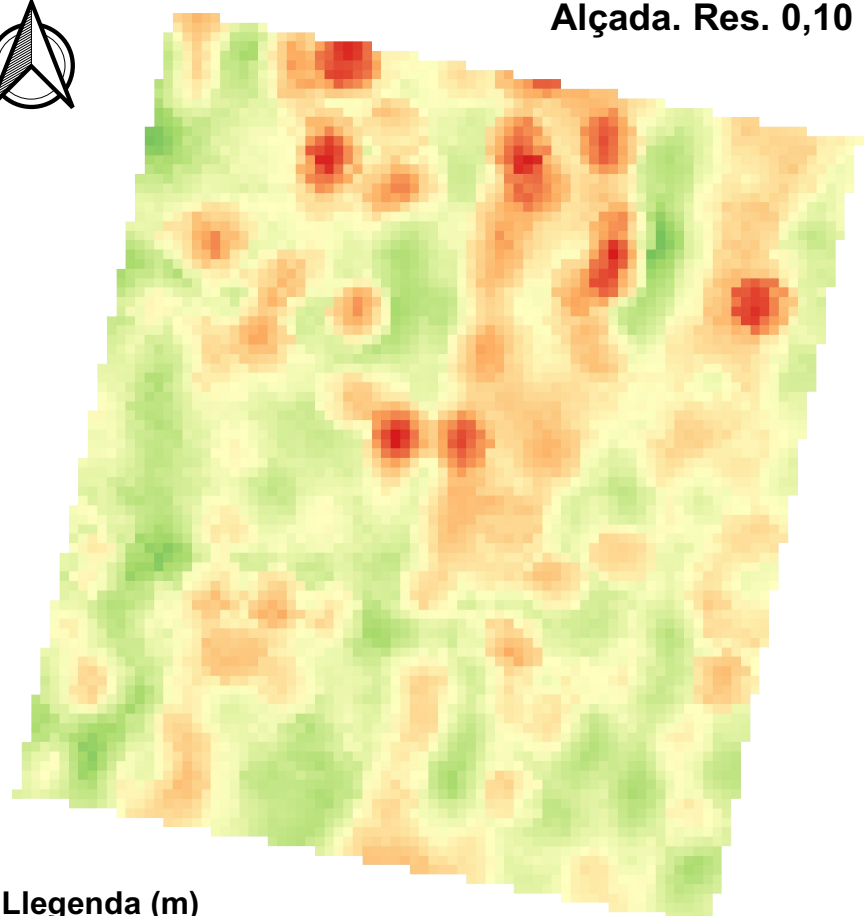
- 39. Comparació seccions transversals i diagrames de caixa a les resolucions de 0,10-0,25 m (20/09/2019).
- 40. Comparació seccions transversals i diagrames de caixa a les resolucions de 0,10-0,50 m (20/09/2019).
- 41. Comparació seccions transversals i diagrames de caixa a les resolucions de 0,25-0,50 m (20/09/2019).



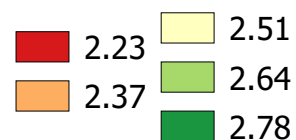
AUTOR: HELENA CAMATS TERRÉ	NÚMERO DE MAPA: 01 de 41	GEOREFENCIACIÓ: ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0	TÍTOL DEL PROJECTE: Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.	DATA: Lleida, juny 2020
 Universitat de Lleida  Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària	TÍTOL DEL MAPA: Situació àrea d'estudi.			ESCALA: 1:800



Alçada. Res. 0,10 m



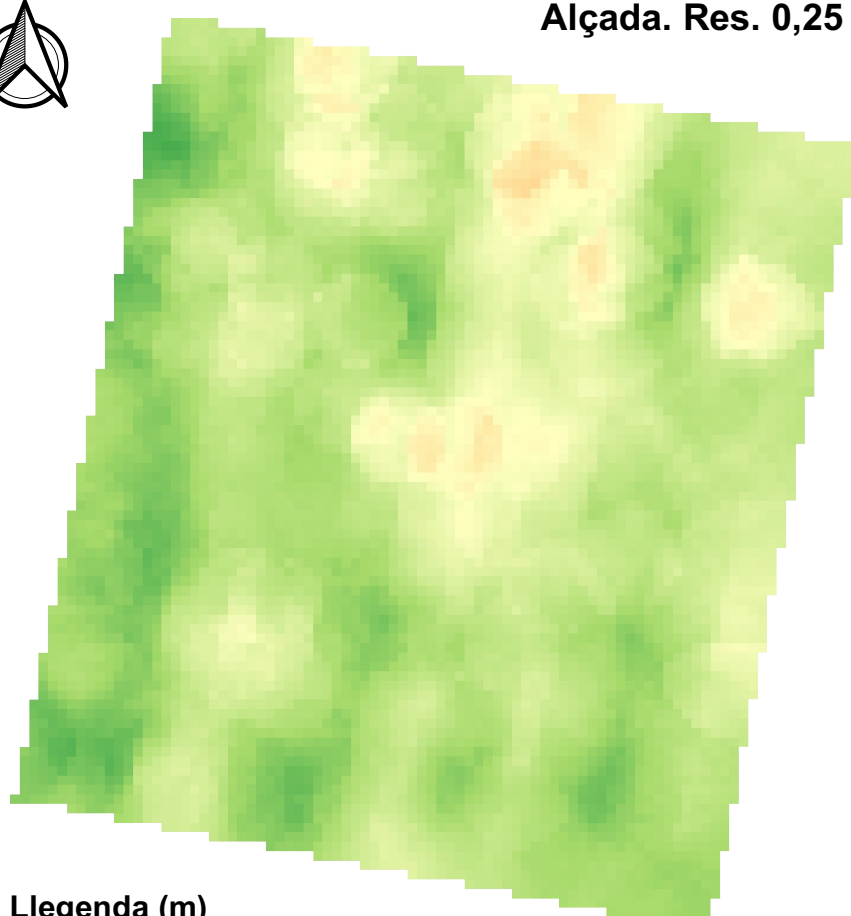
Llegenda (m)



0 10 20 m



Alçada. Res. 0,25 m



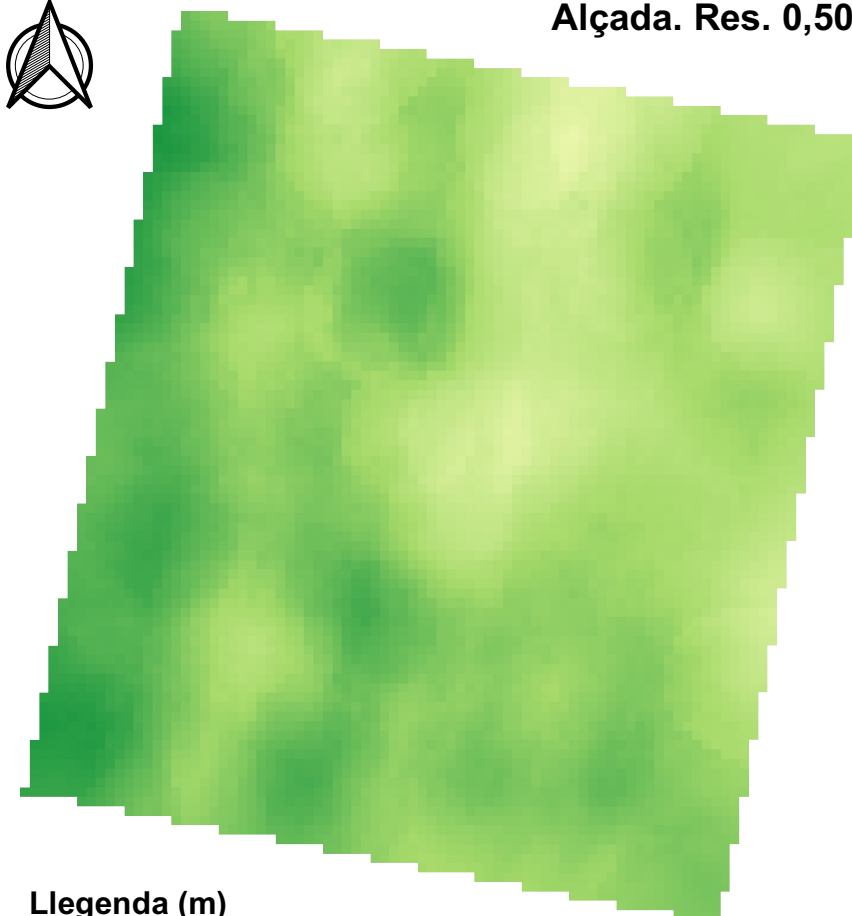
Llegenda (m)



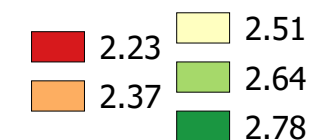
0 10 20 m



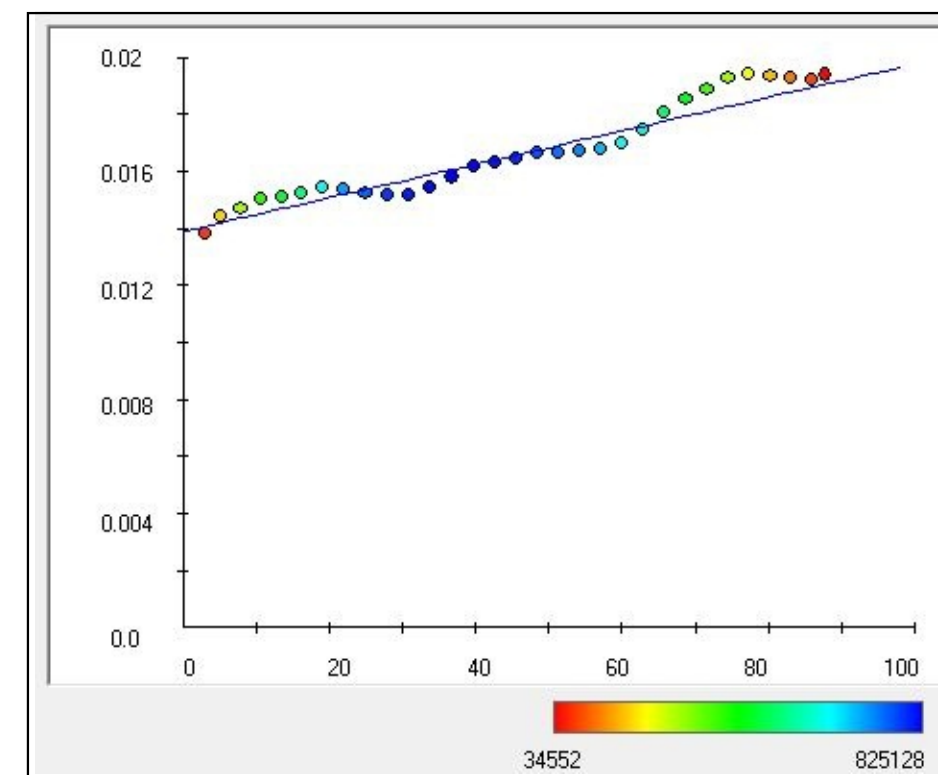
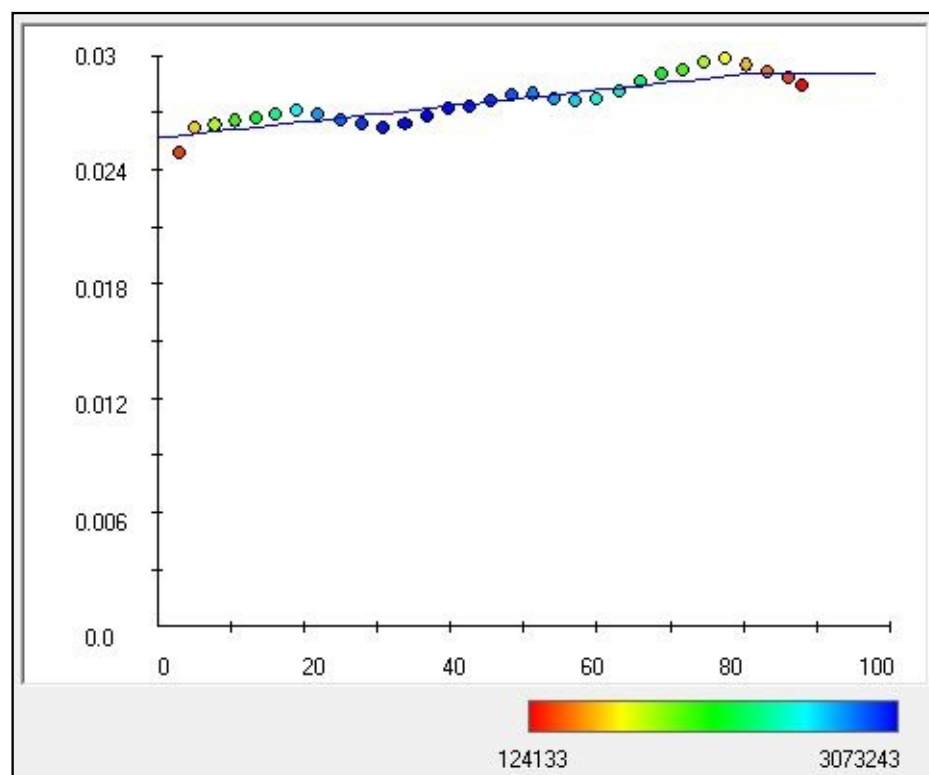
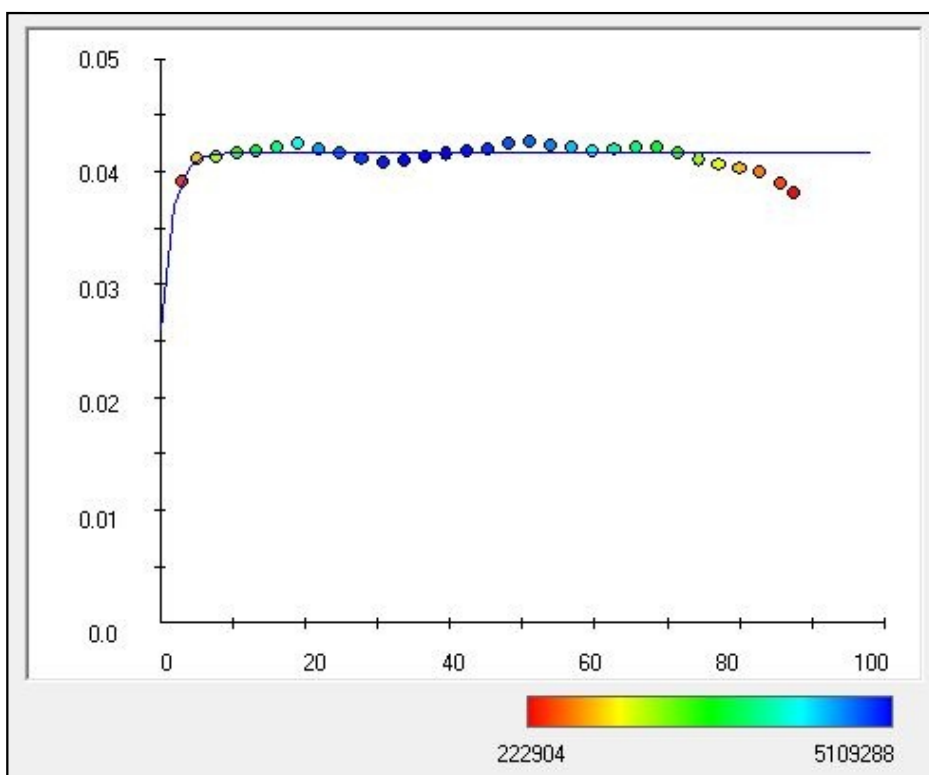
Alçada. Res. 0,50 m



Llegenda (m)



0 10 20 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
02 de 41

GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una
plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental
de fertirrigació.

DATA:
Lleida, juny 2020

TÍTOL DEL MAPA:
Alçades i variogrames a les resolucions de 0,10 m; 0,25 m
i 0,50 m (22/06/2019).

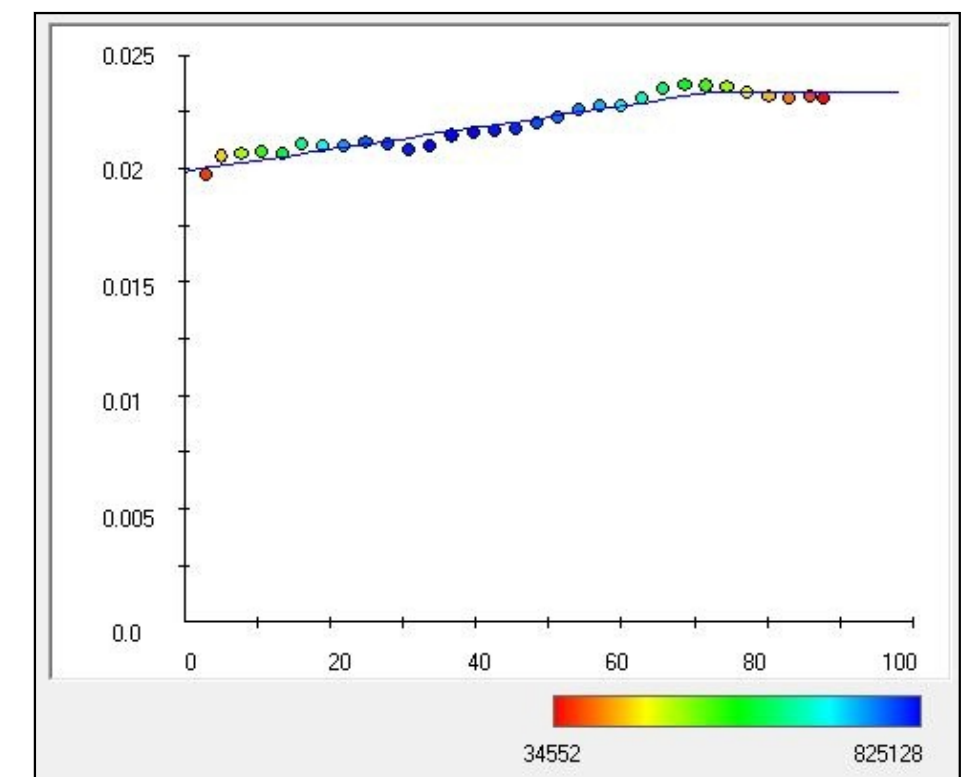
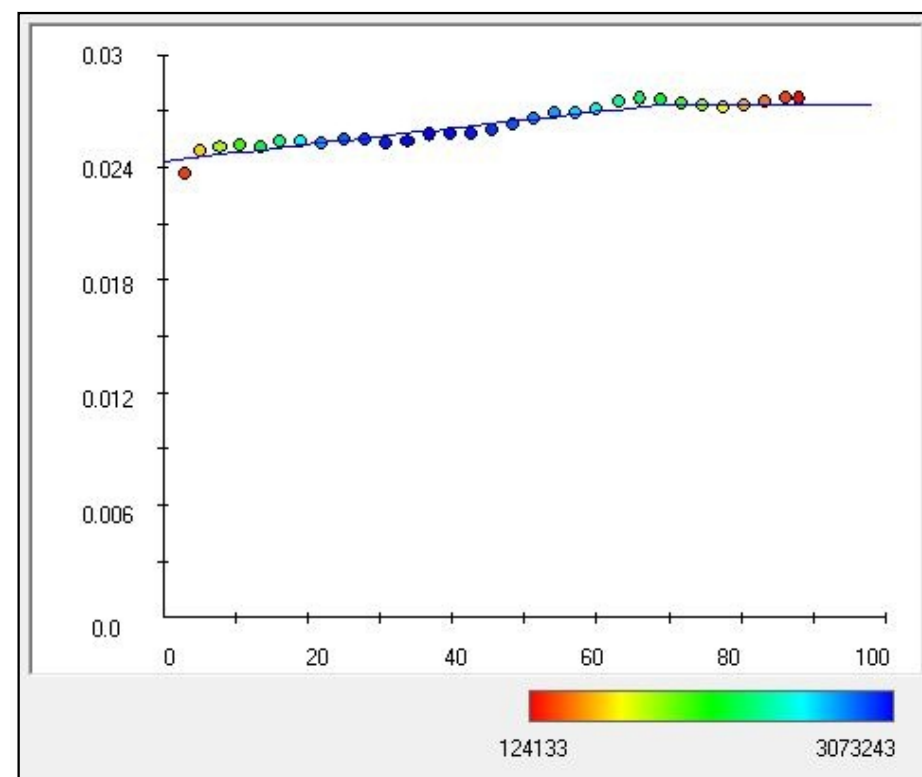
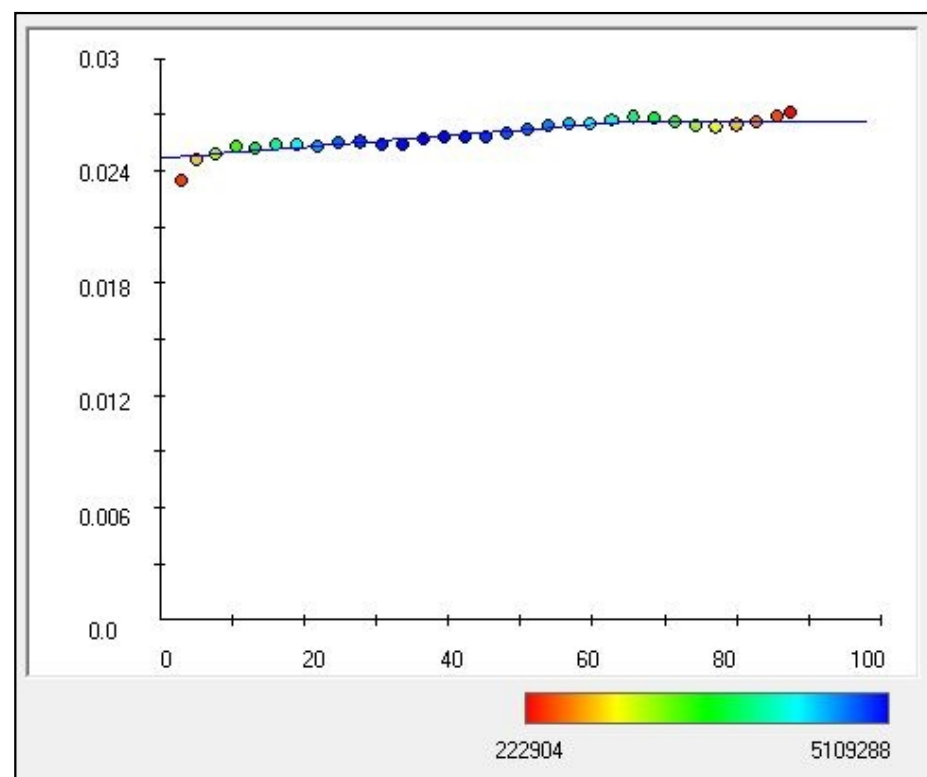
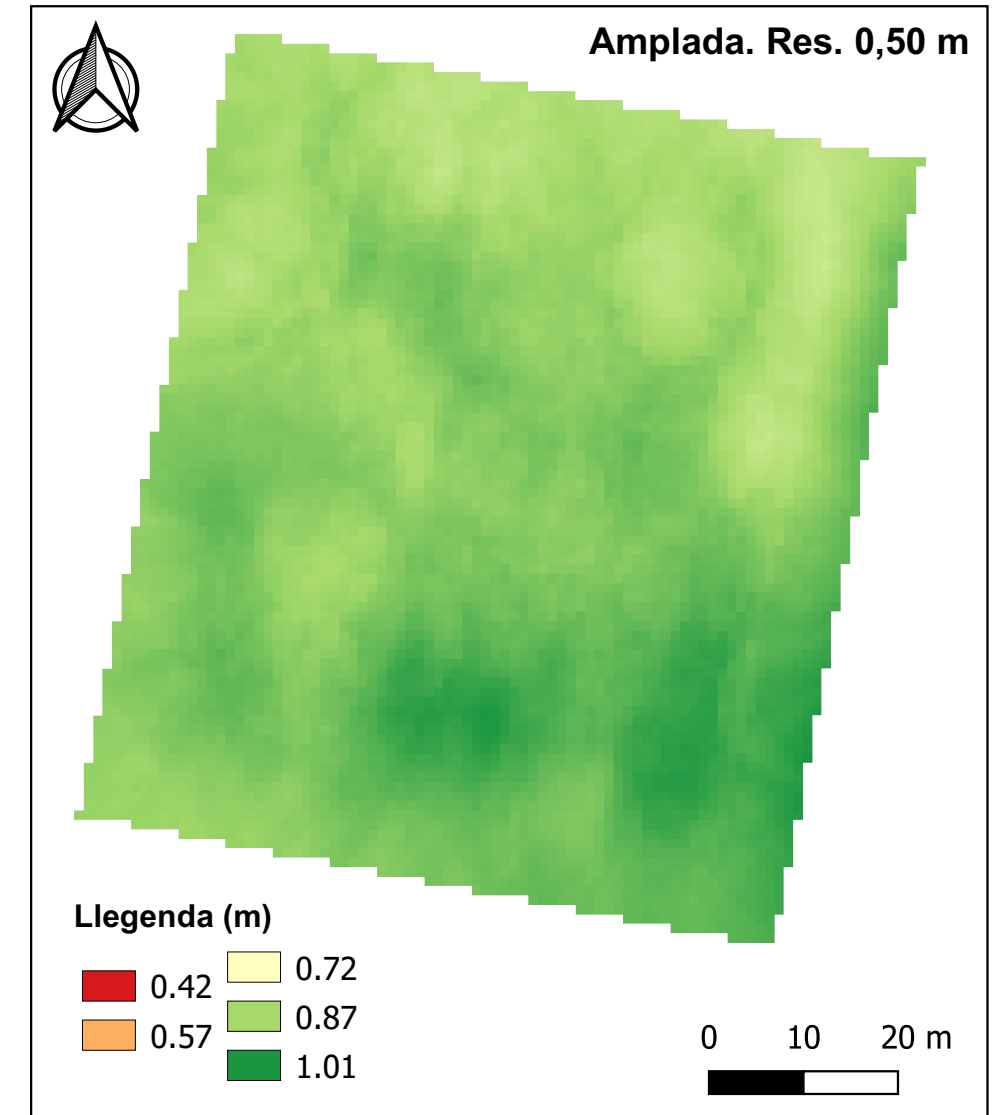
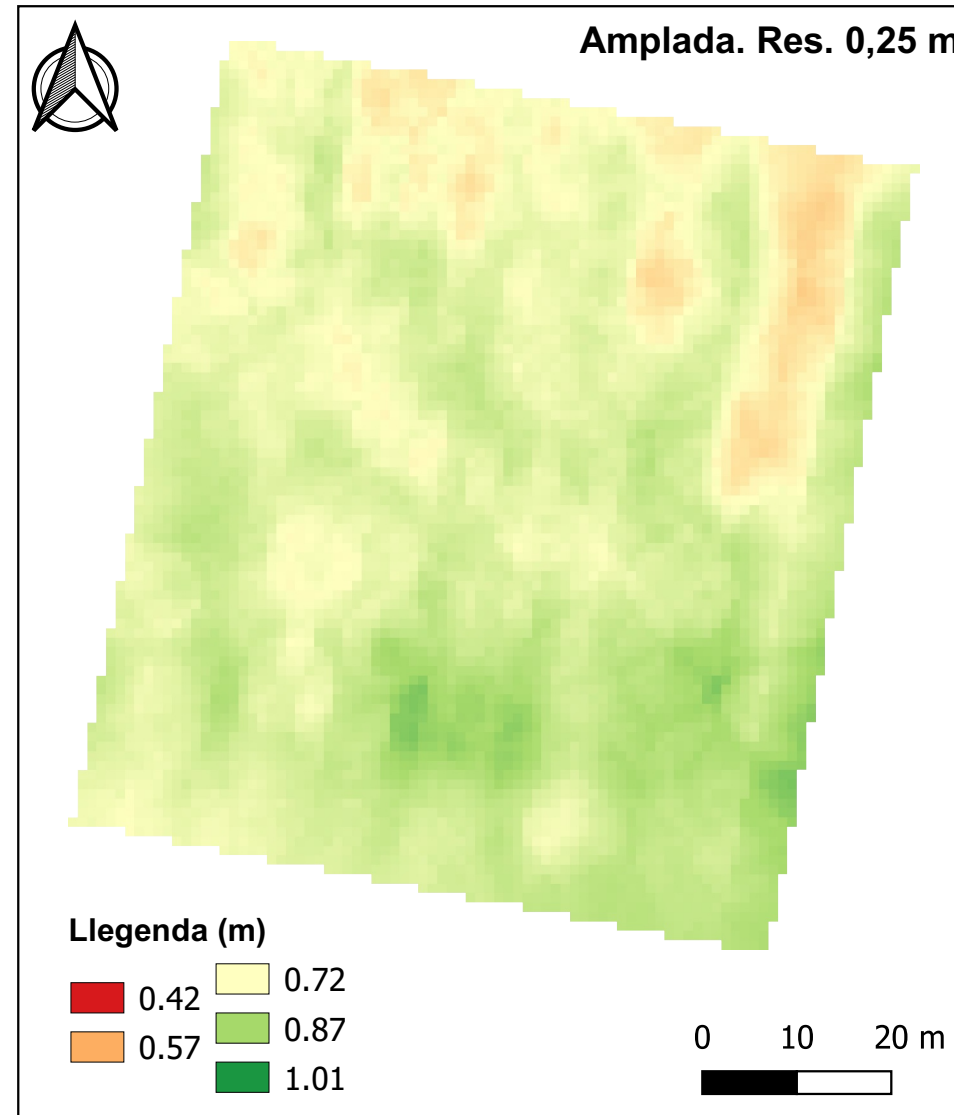
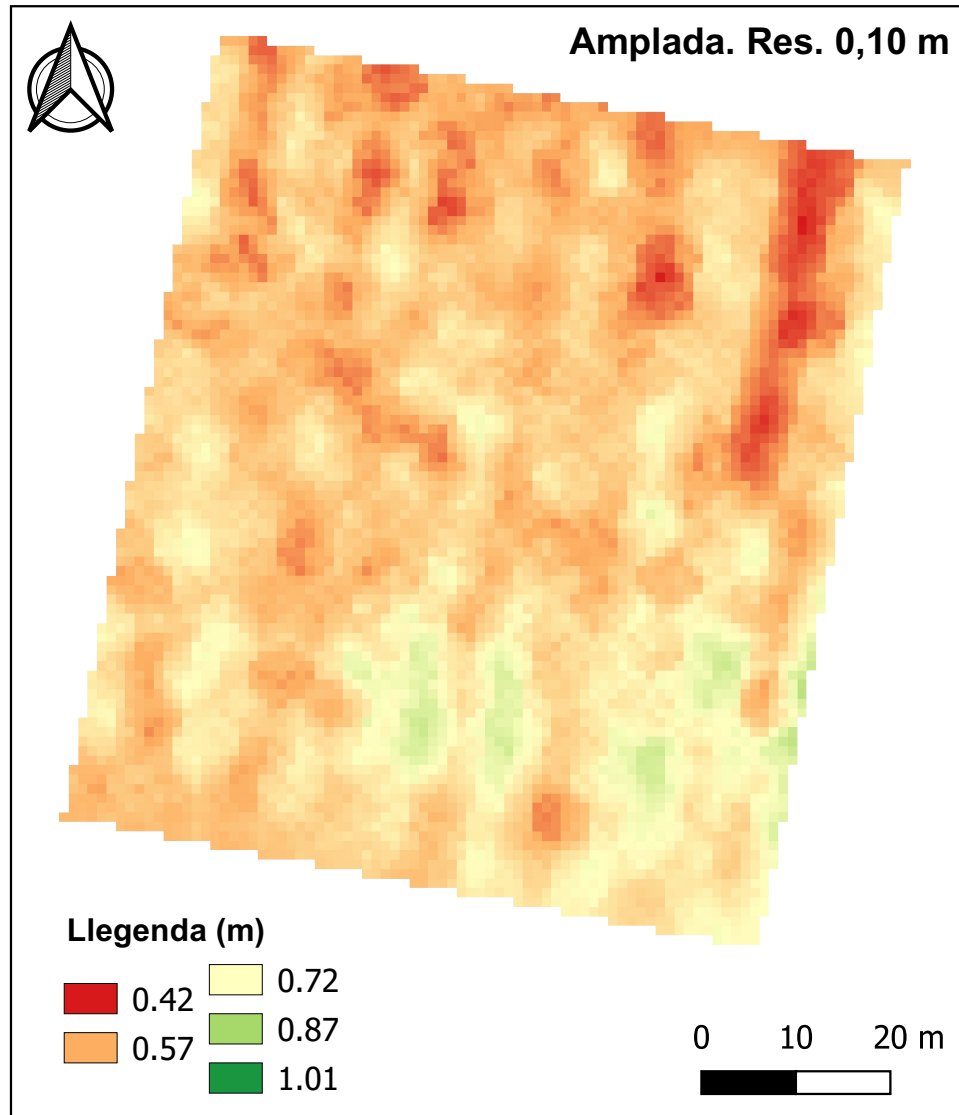
ESCALA:
1:800

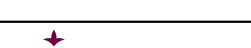



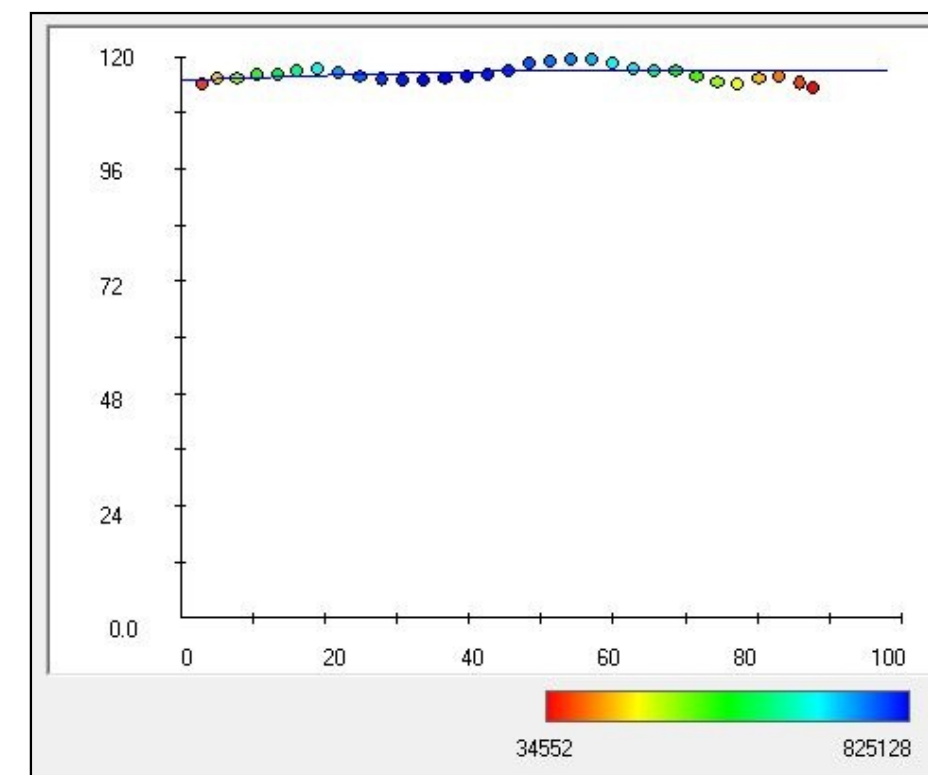
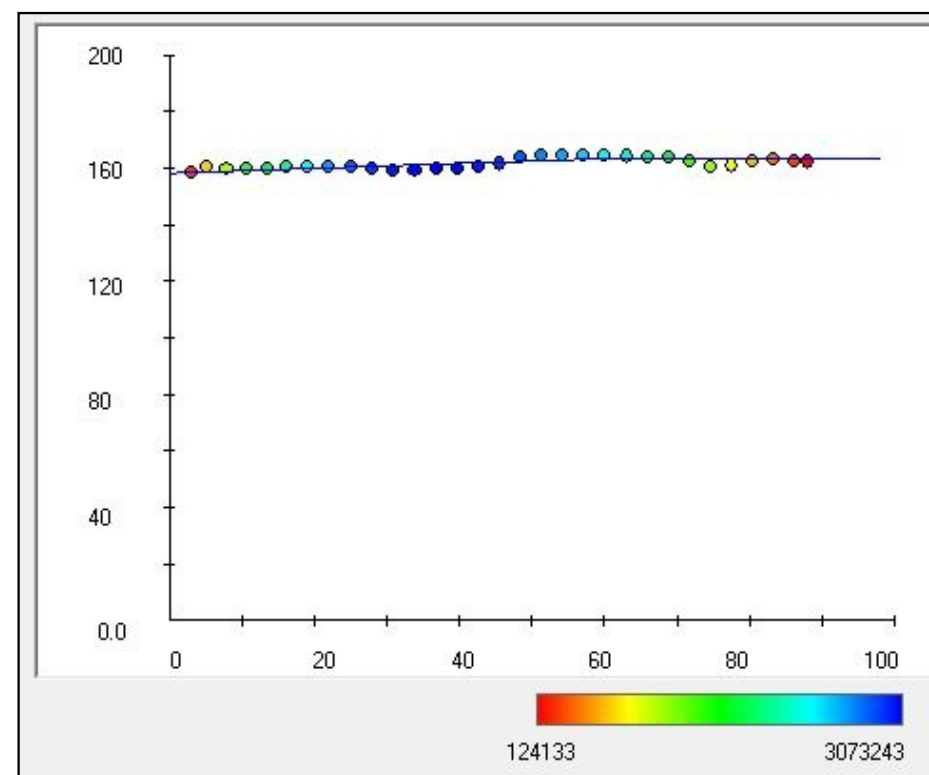
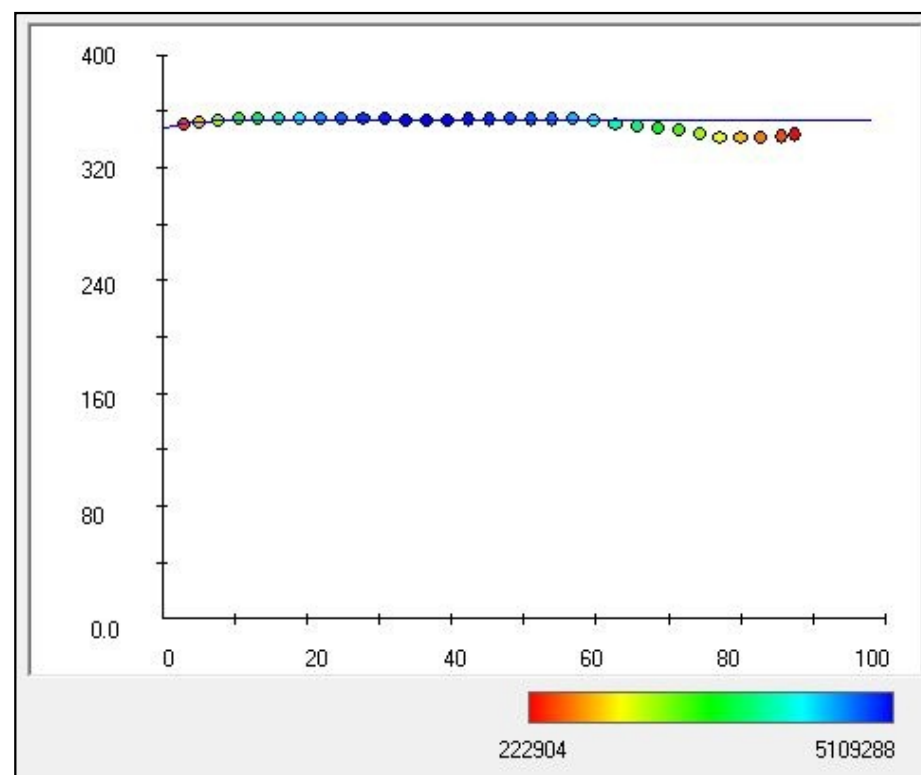
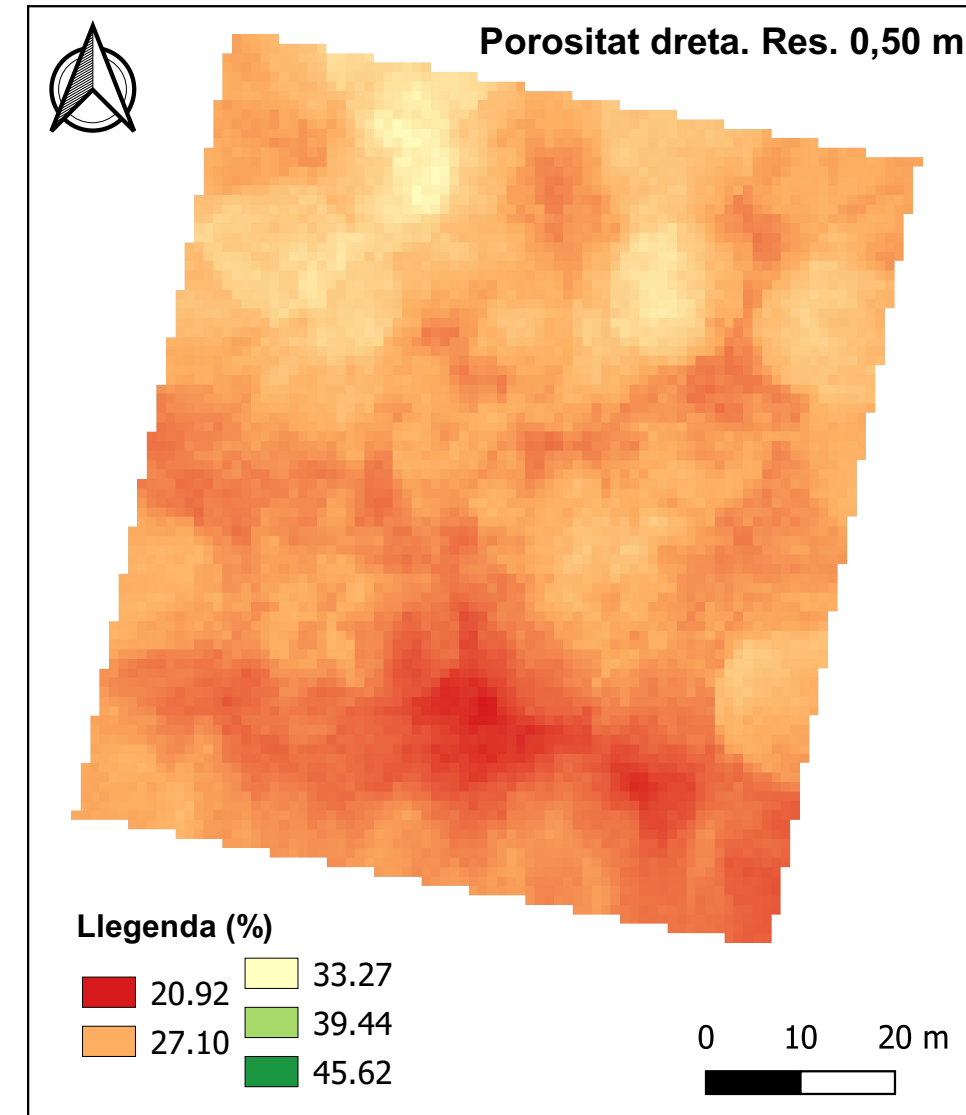
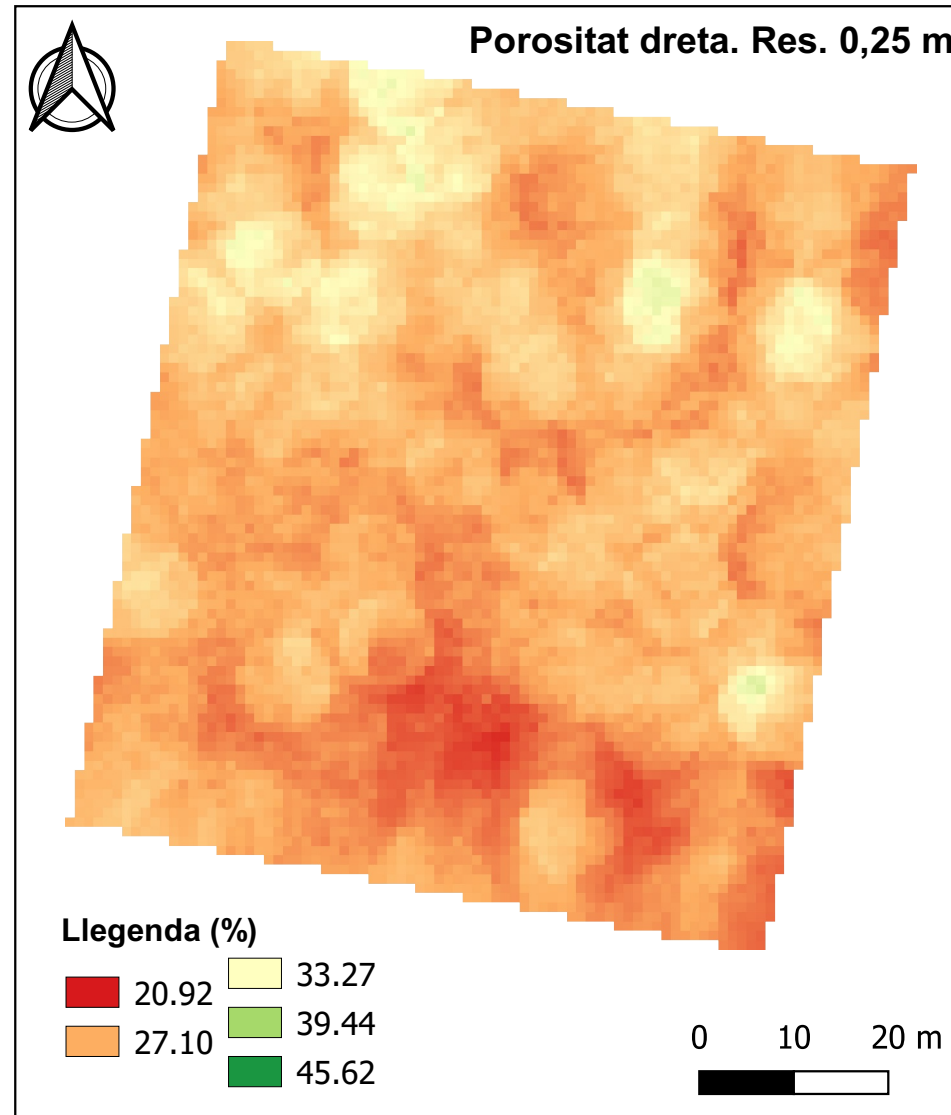
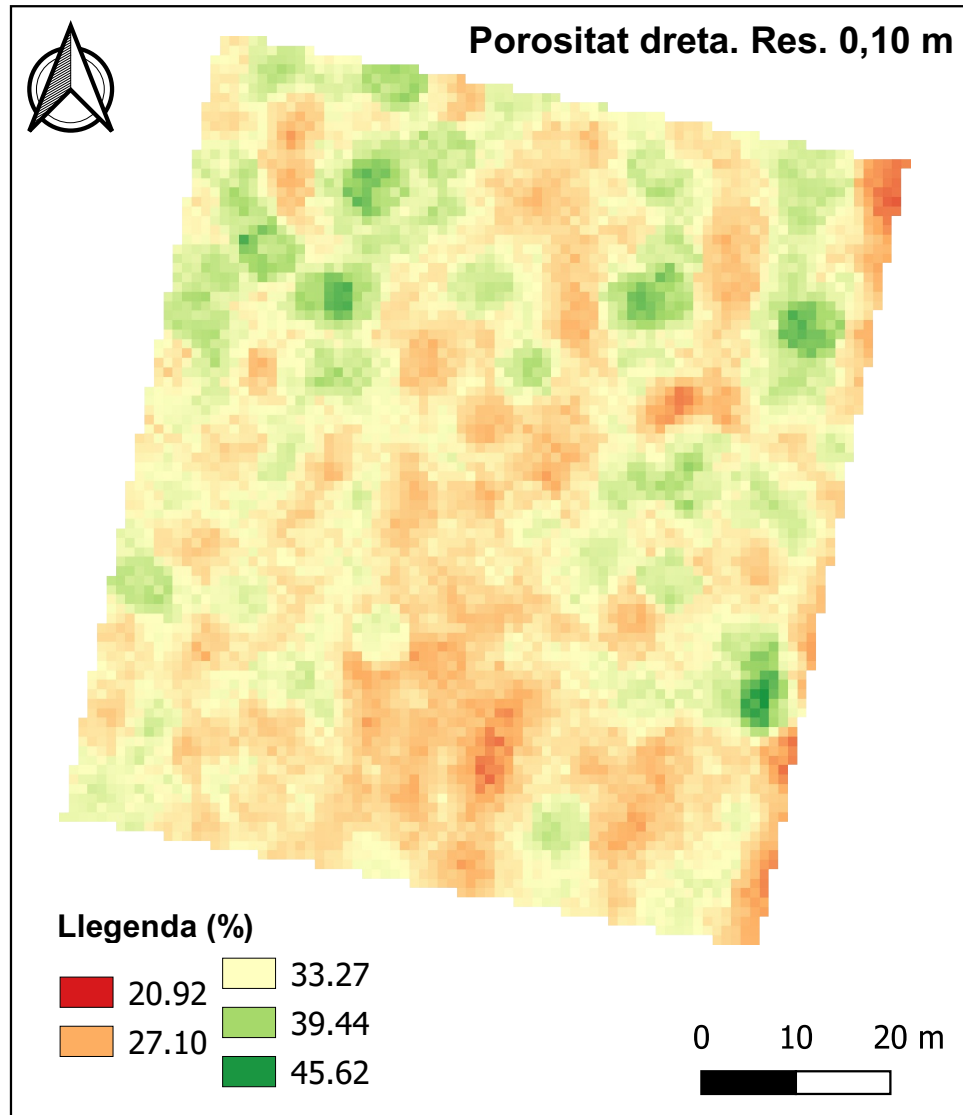
Universitat
de Lleida

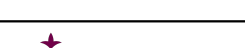



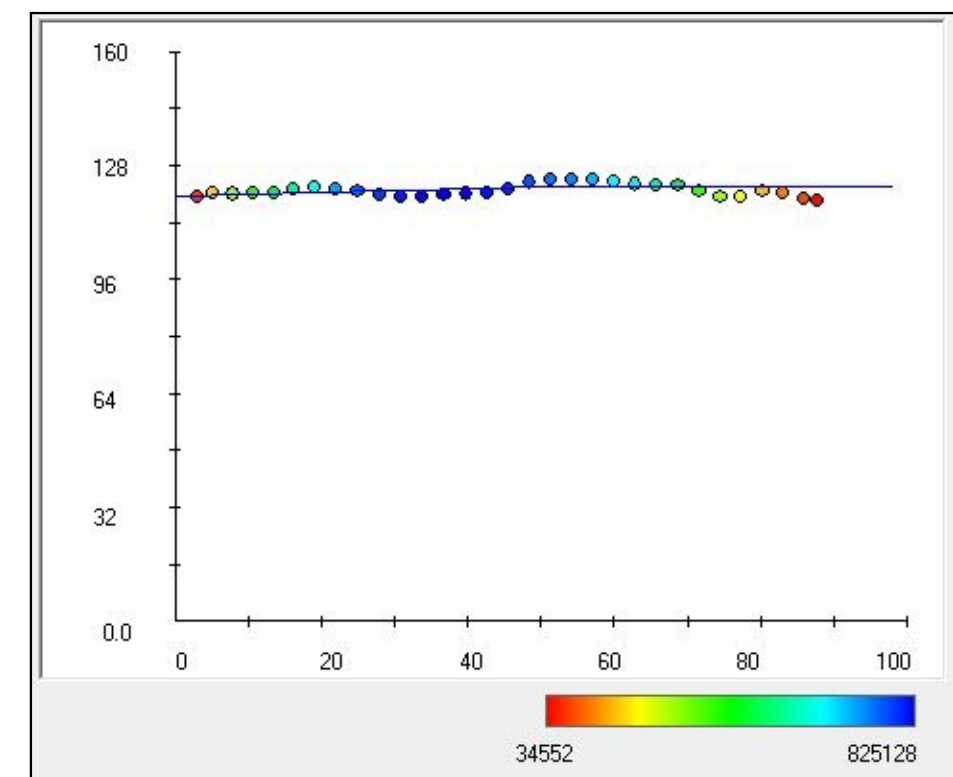
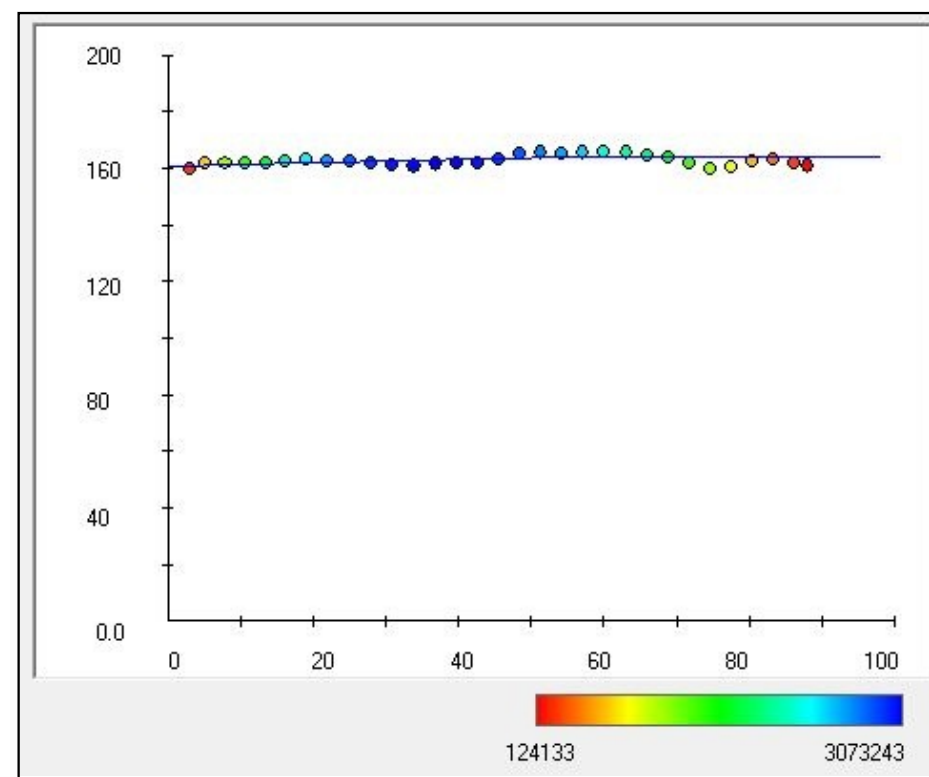
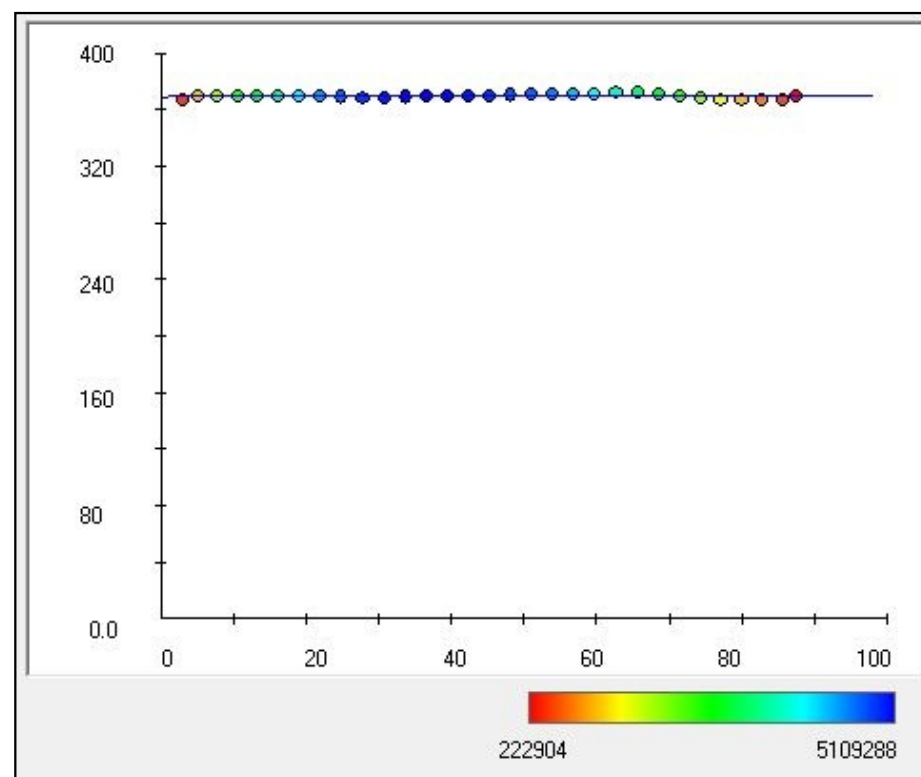
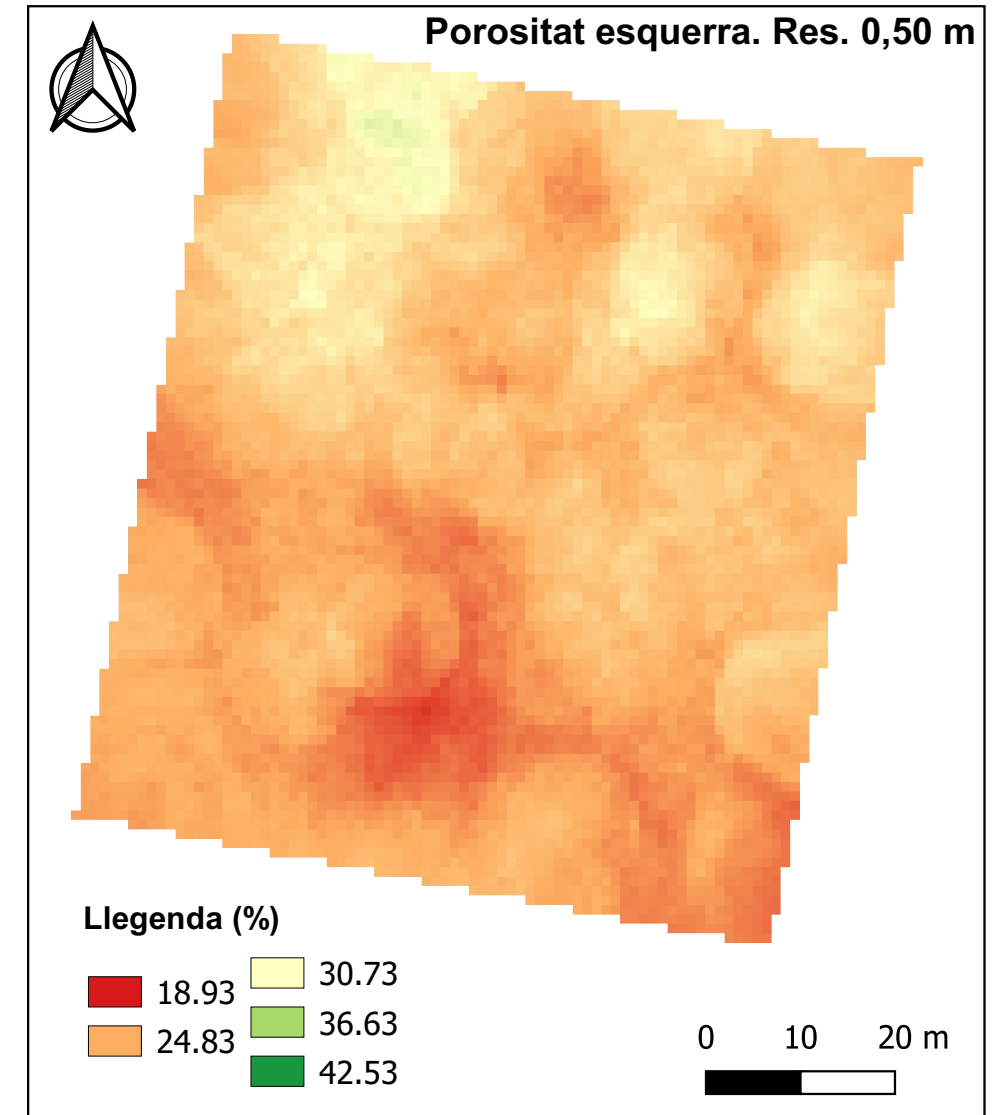
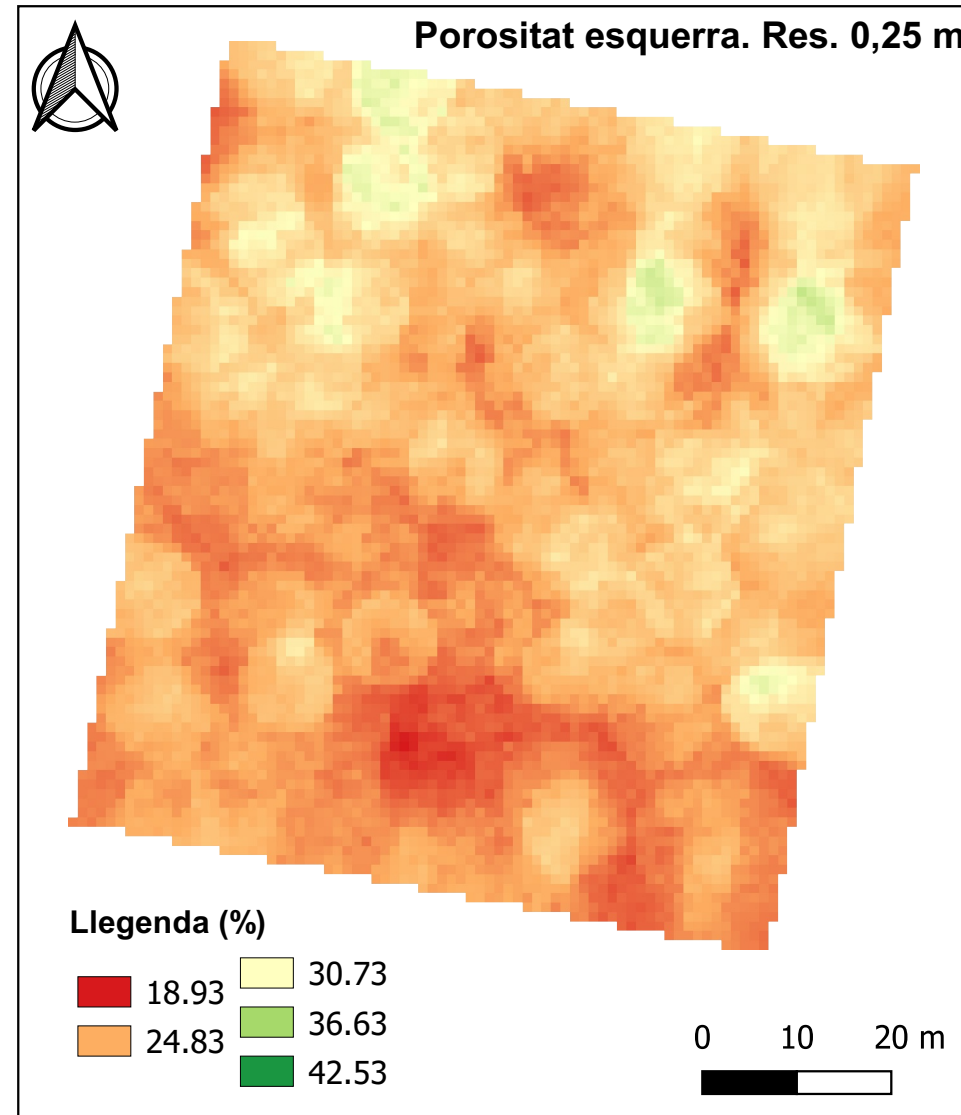
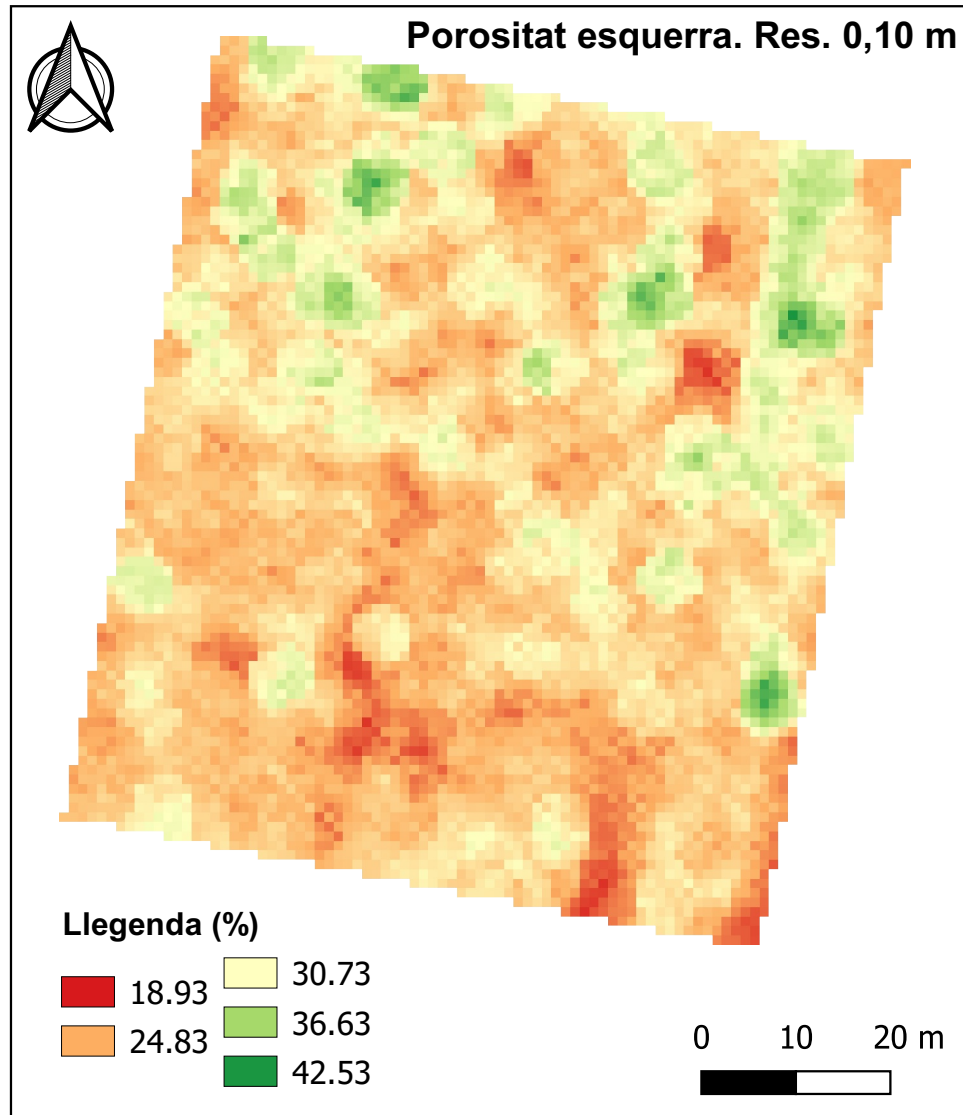
Escola
Tècnica
Superior
d'Enginyeria
Agrària





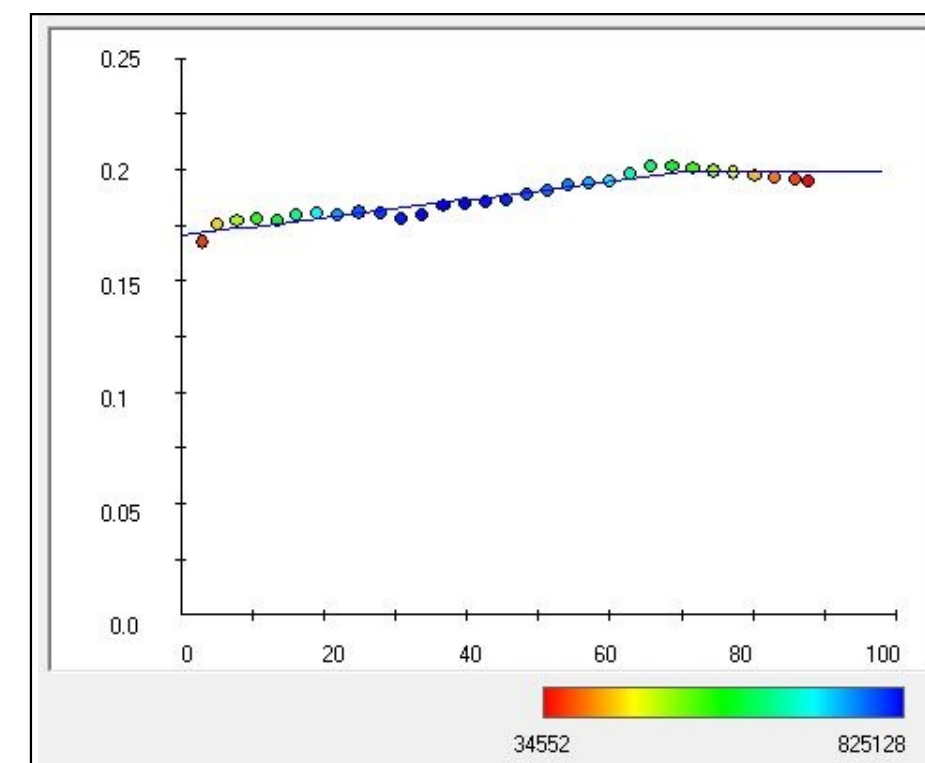
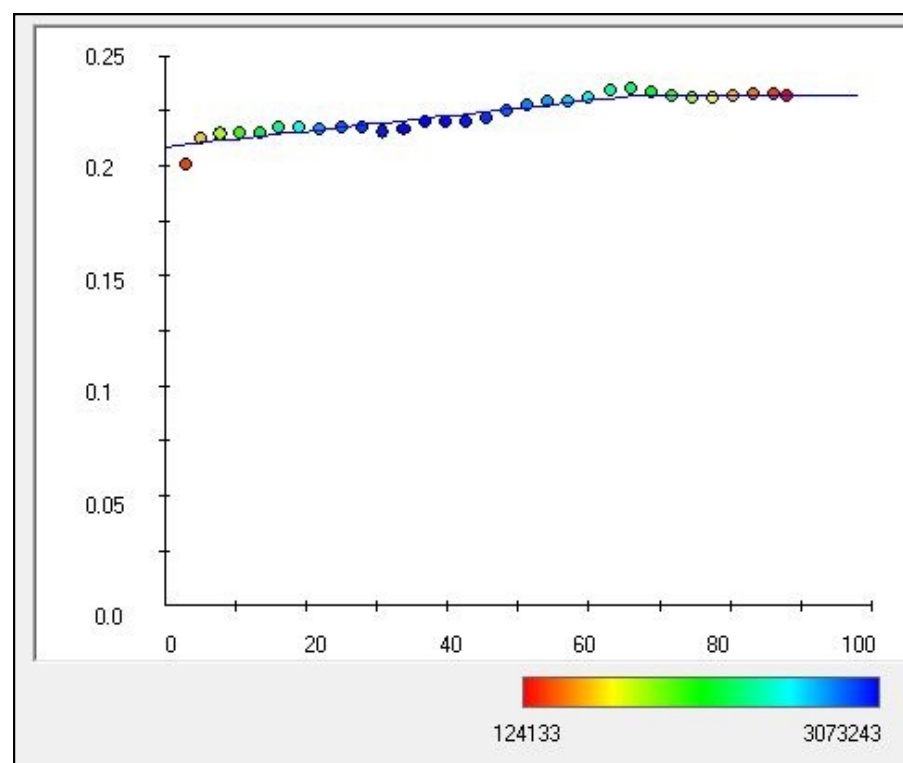
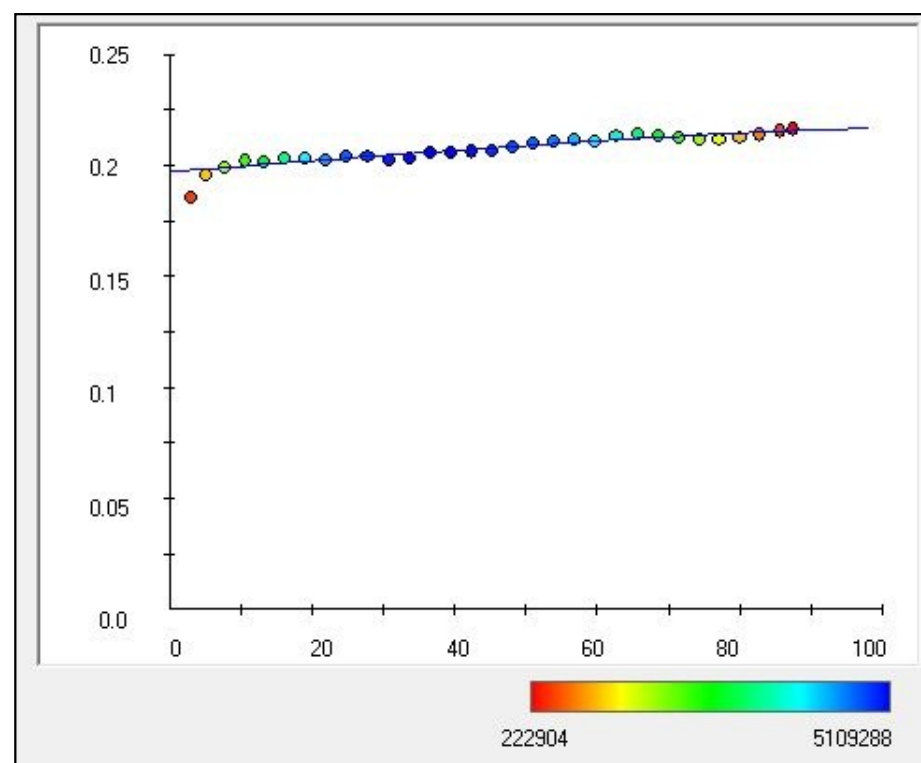
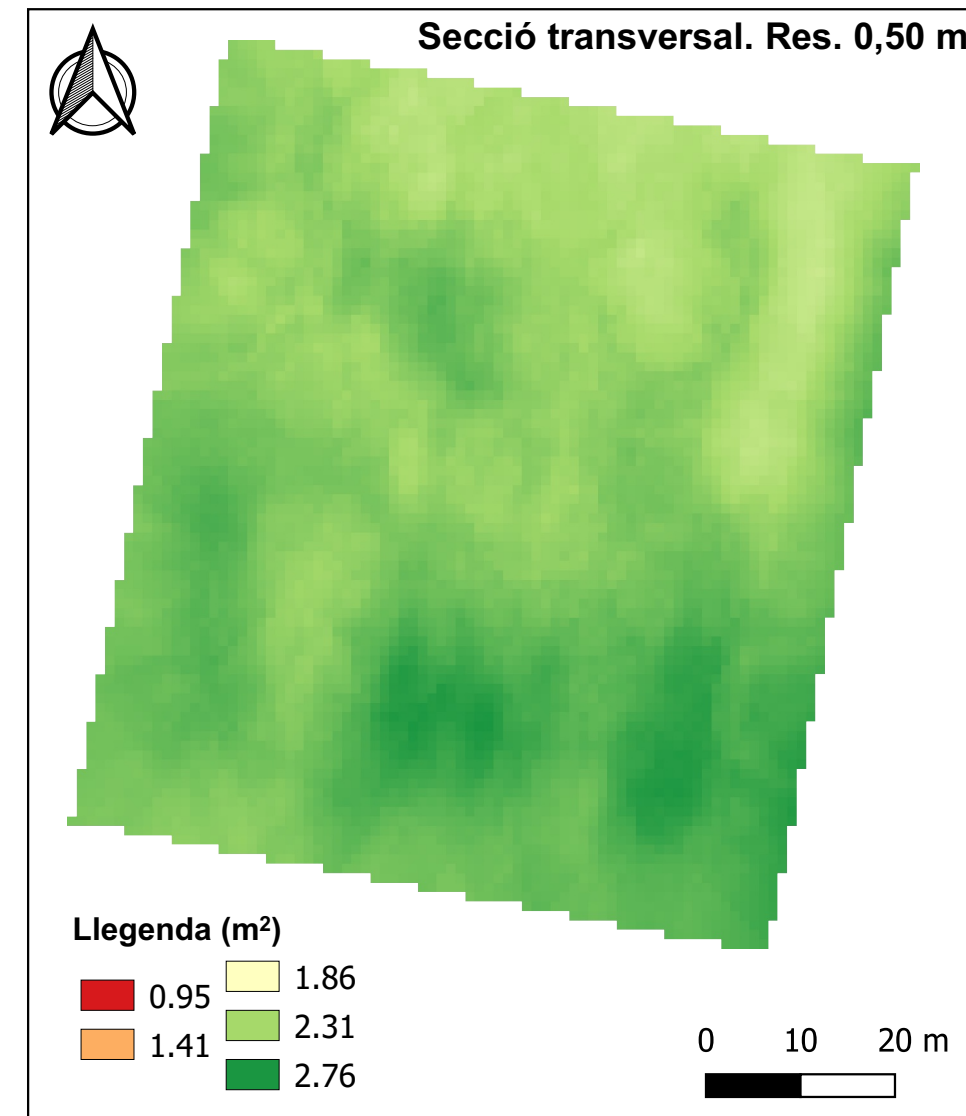
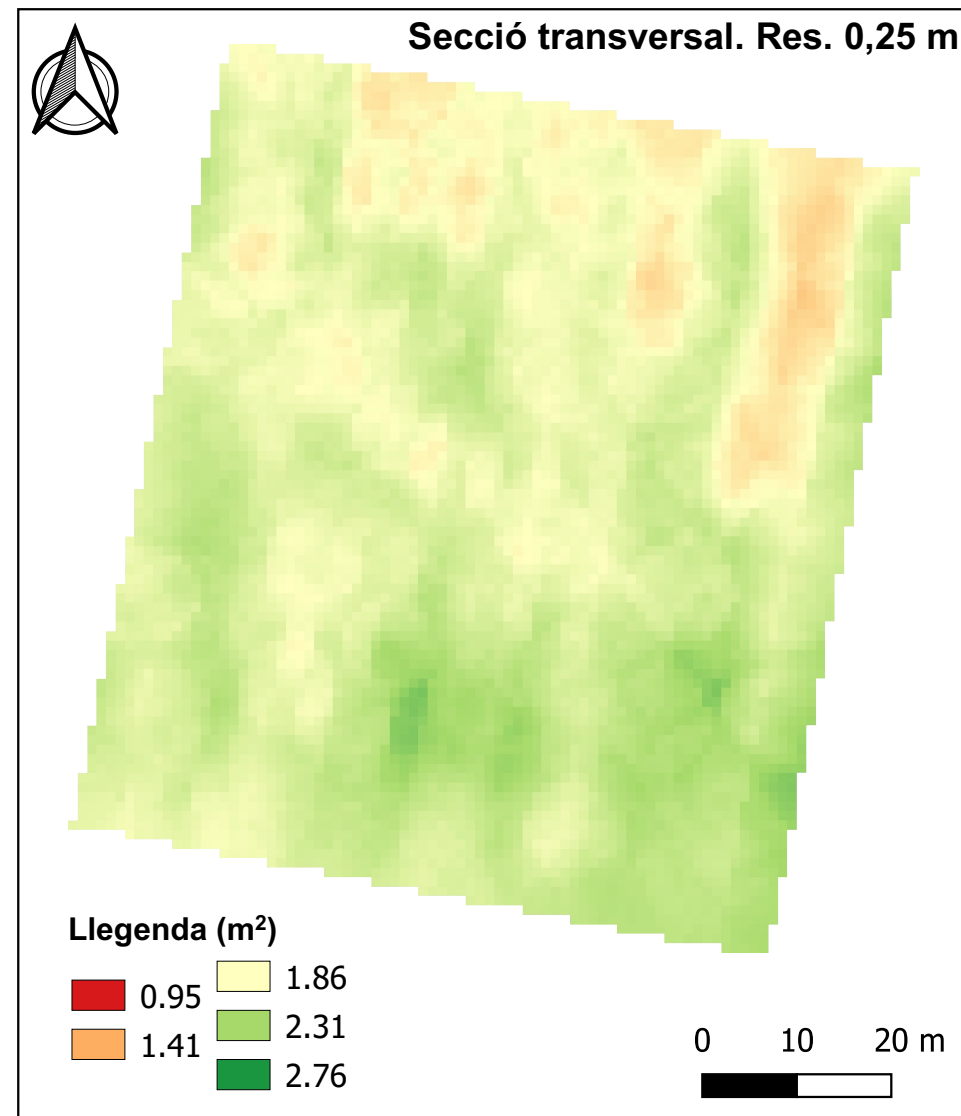
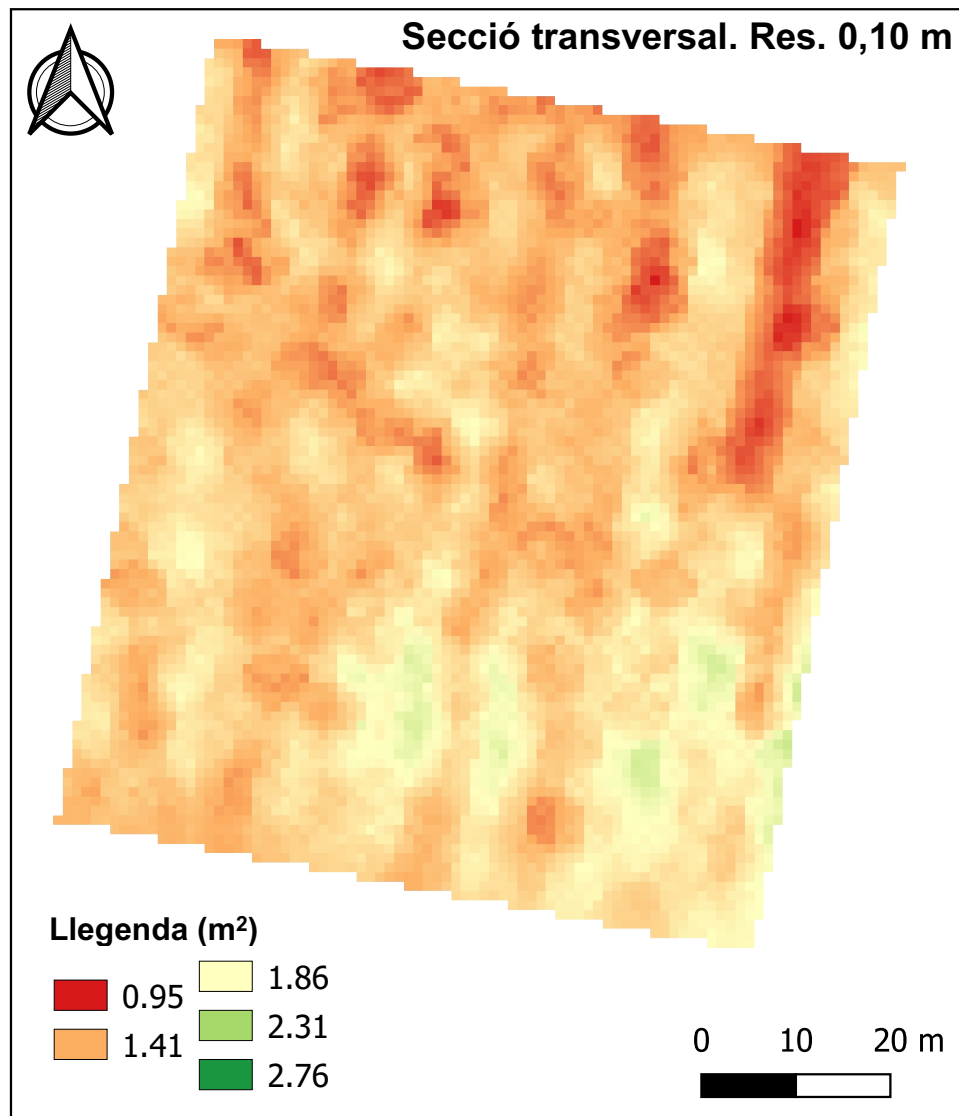
AUTOR: HELENA CAMATS TERRÉ	NÚMERO DE MAPA: 03 de 41	GEOREFENCIACIÓ: ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0	TÍTOL DEL PROJECTE: Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.	DATA: Lleida, juny 2020
 <div>Universitat de Lleida</div>  <div>Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària</div>	TÍTOL DEL MAPA: Amplades i variogrames a les resolucions de 0,10 m; 0,25 m i 0,50 m (22/06/2019).			ESCALA: 1:800



AUTOR: HELENA CAMATS TERRÉ	NÚMERO DE MAPA: 04 de 41	GEOREFENCIACIÓ: ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0	TÍTOL DEL PROJECTE: Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.	DATA: Lleida, juny 2020
 Universitat de Lleida  Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària	TÍTOL DEL MAPA: Porositats dretes i variogrames a les resolucions de 0,10 m; 0,20 m i 0,50 m (22/06/2019).			ESCALA: 1:800



AUTOR: HELENA CAMATS TERRÉ	NÚMERO DE MAPA: 05 de 41	GEOREFENCIACIÓ: ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0	TÍTOL DEL PROJECTE: Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.	DATA: Lleida, juny 2020
 Universitat de Lleida  Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària	TÍTOL DEL MAPA: Porositats esquerres i variogrames a les resolucions de 0,10 m; 0,25 m i 0,50 m (22/06/2019).			ESCALA: 1:800



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
06 de 41

GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

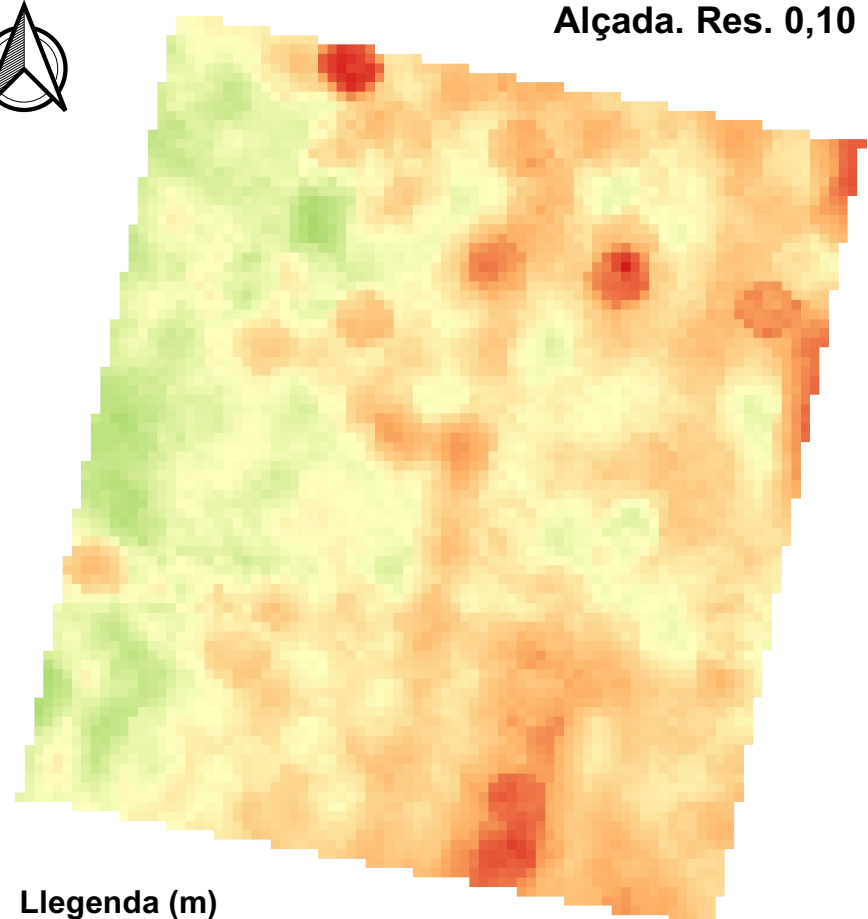
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:
Lleida, juny 2020

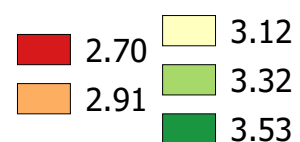
ESCALA:
1:800



Alçada. Res. 0,10 m



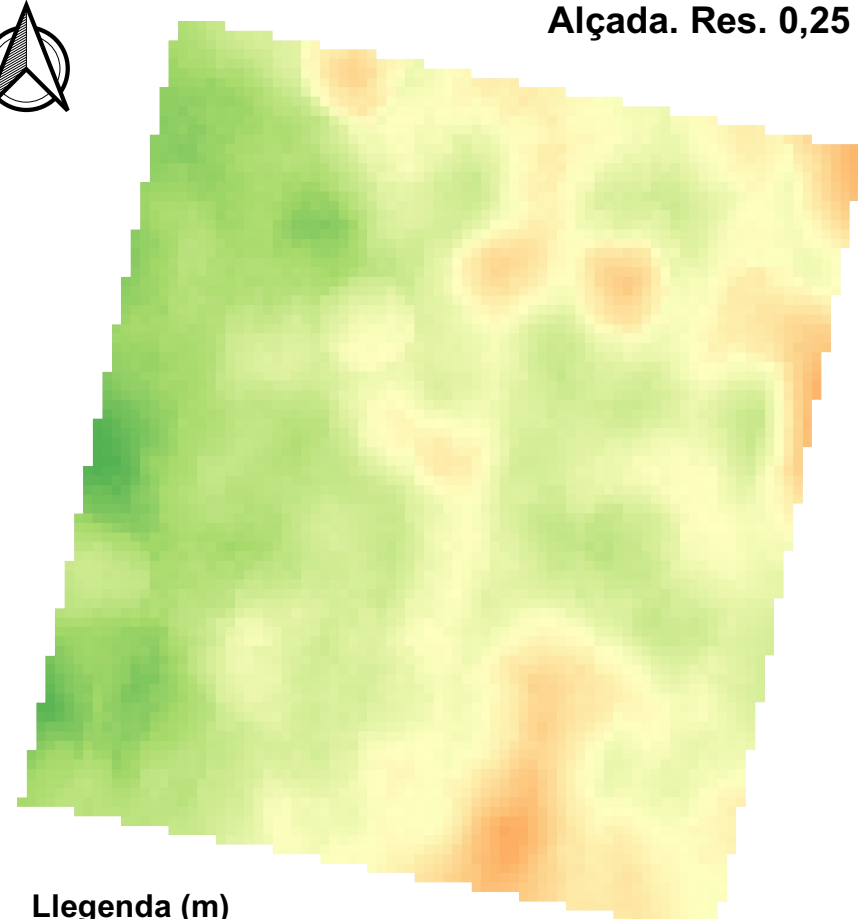
Llegenda (m)



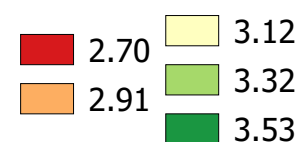
0 10 20 m



Alçada. Res. 0,25 m



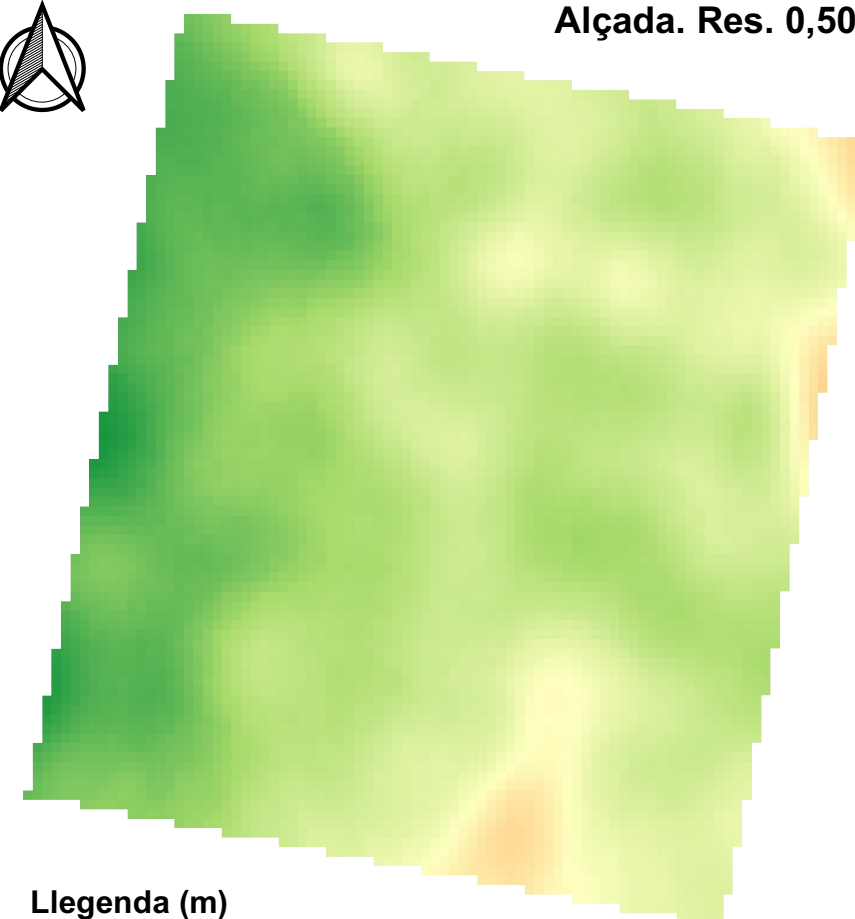
Llegenda (m)



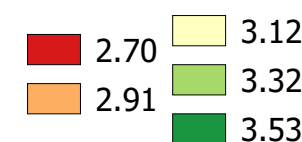
0 10 20 m



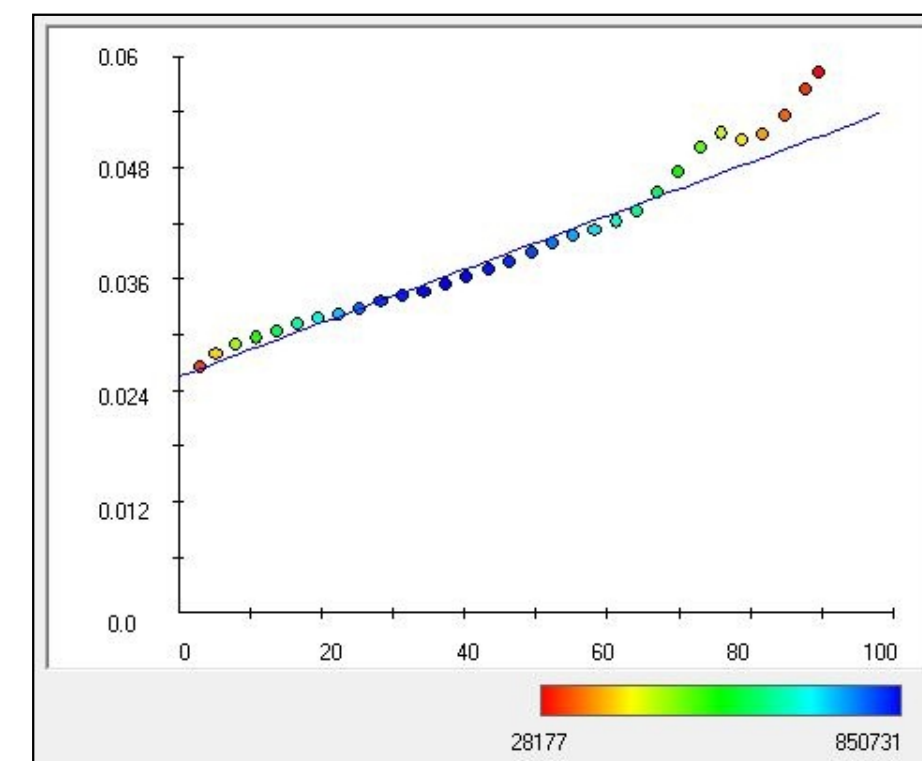
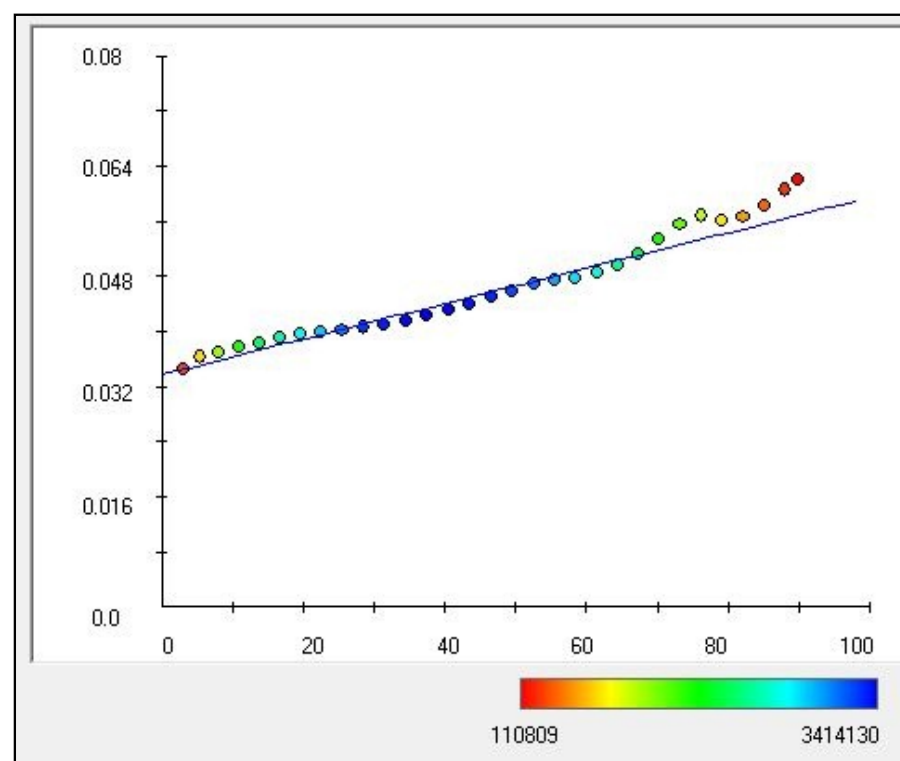
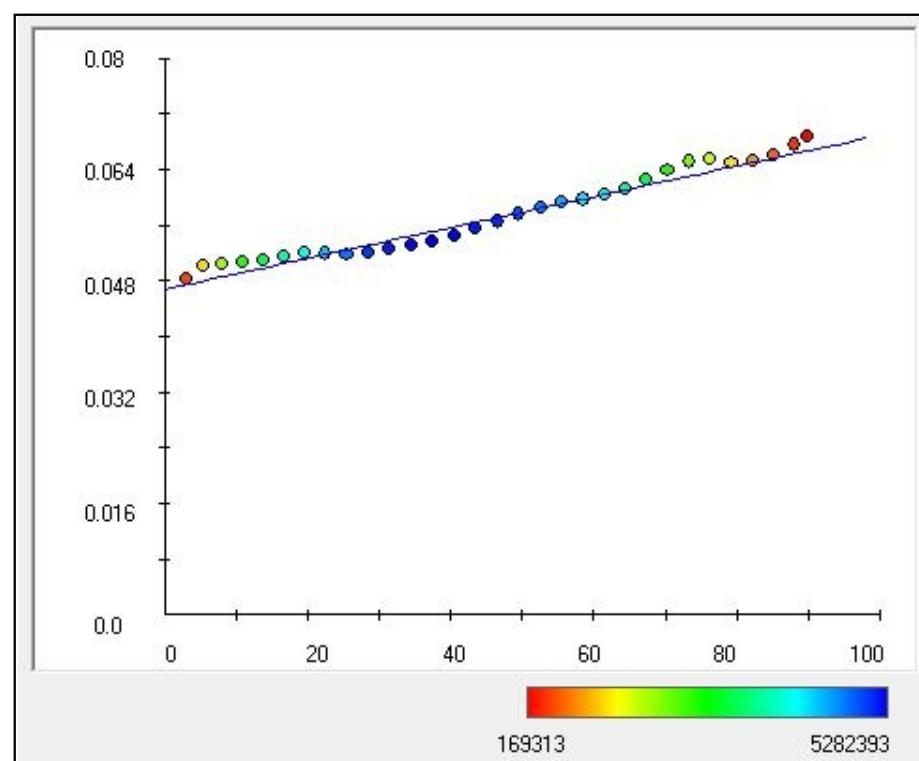
Alçada. Res. 0,50 m



Llegenda (m)



0 10 20 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
07 de 41

GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

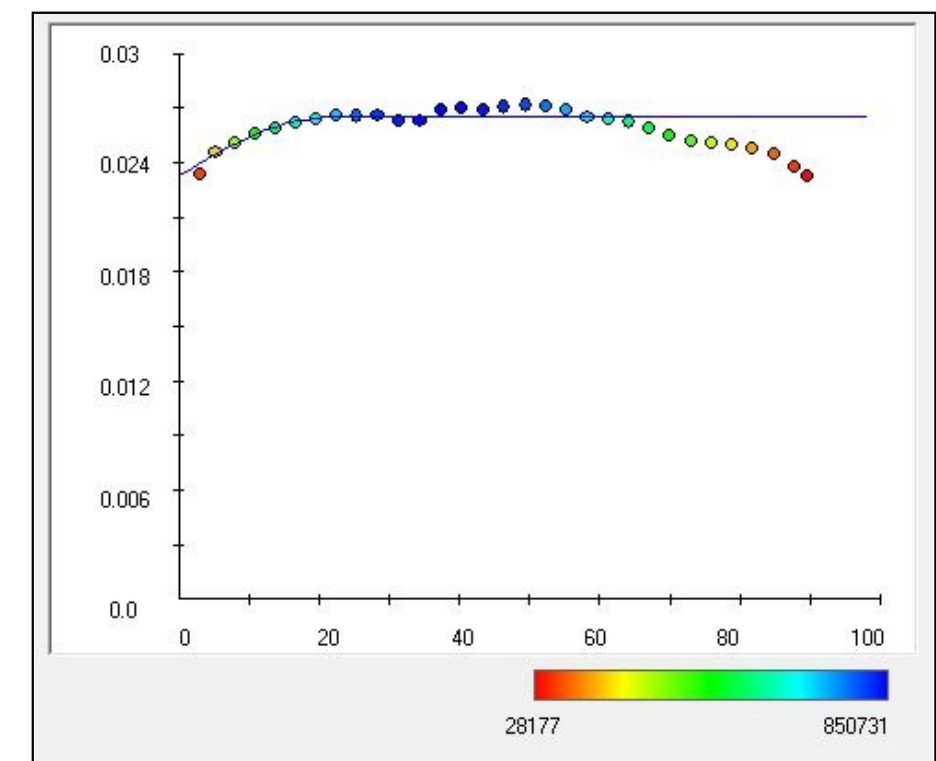
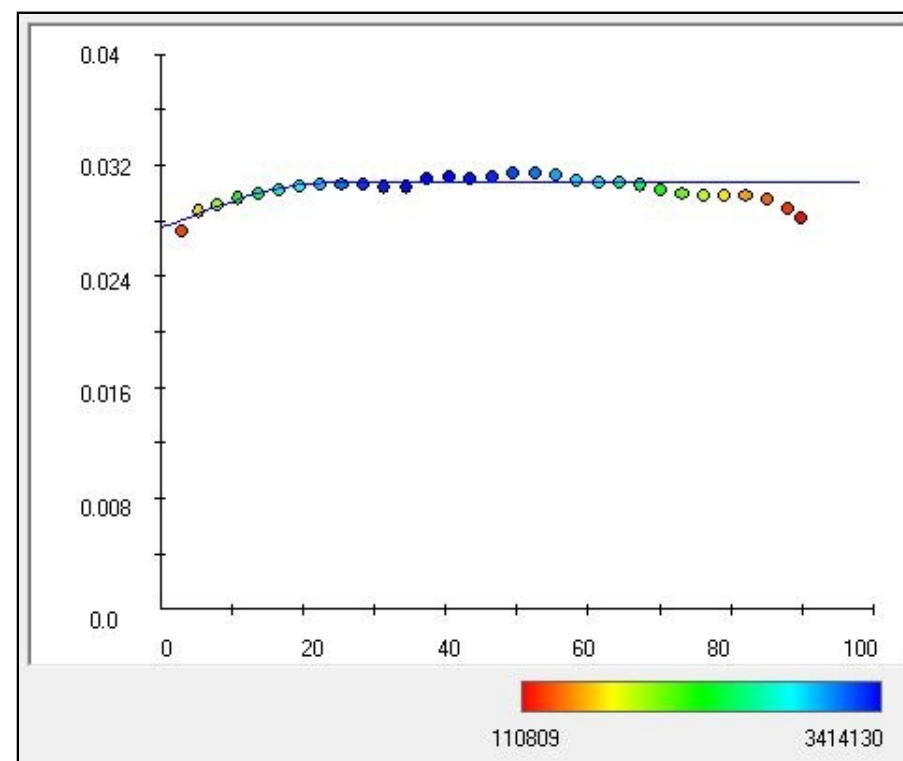
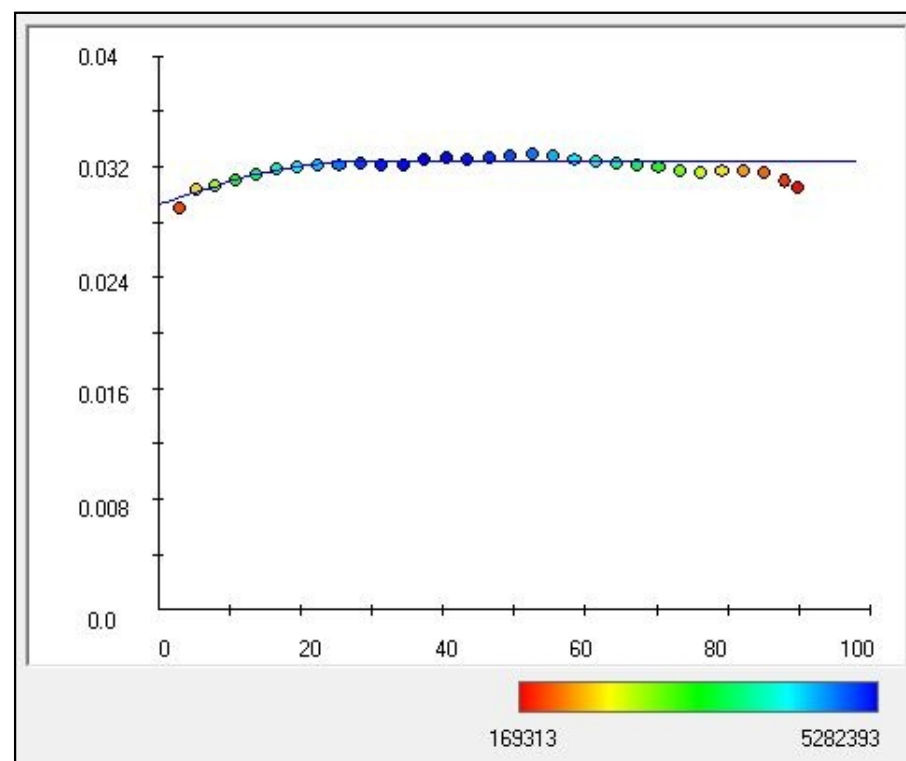
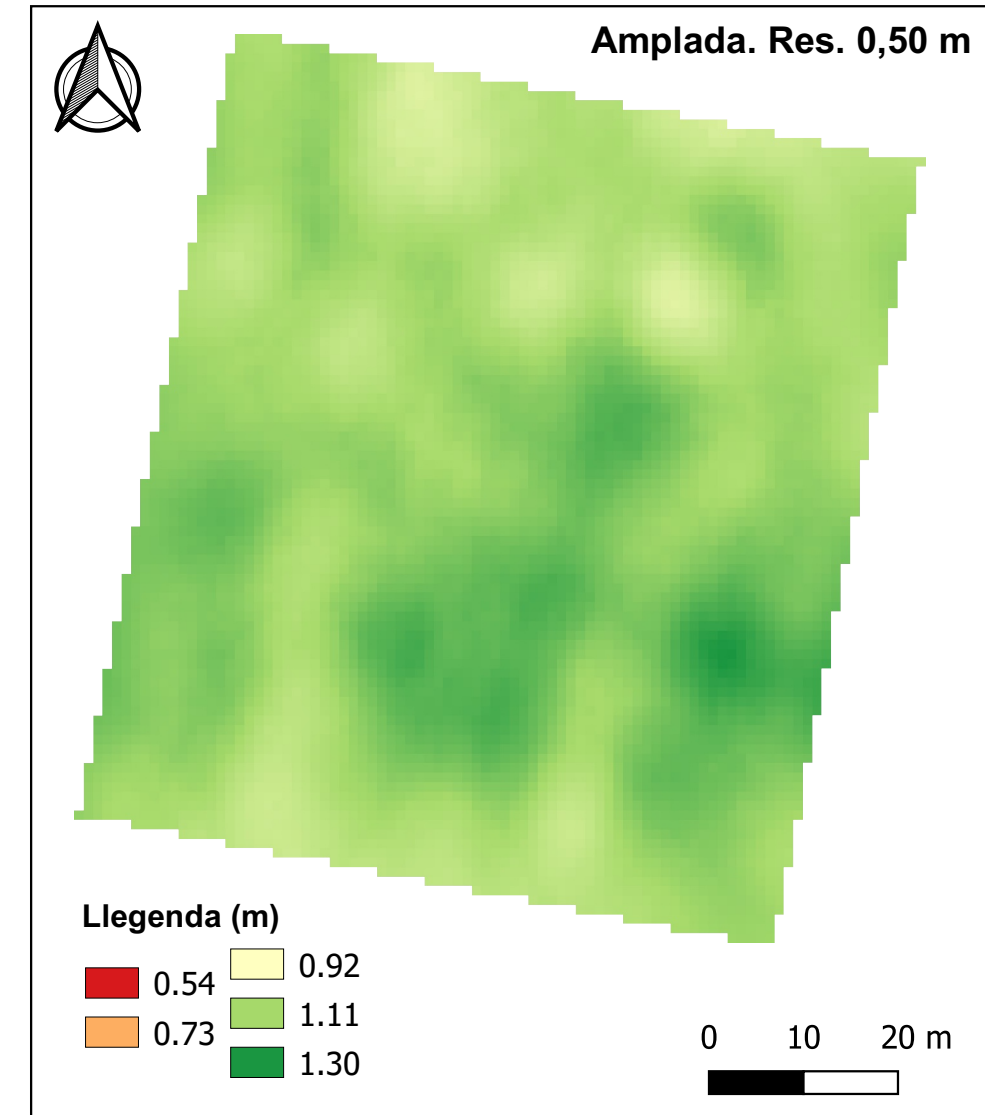
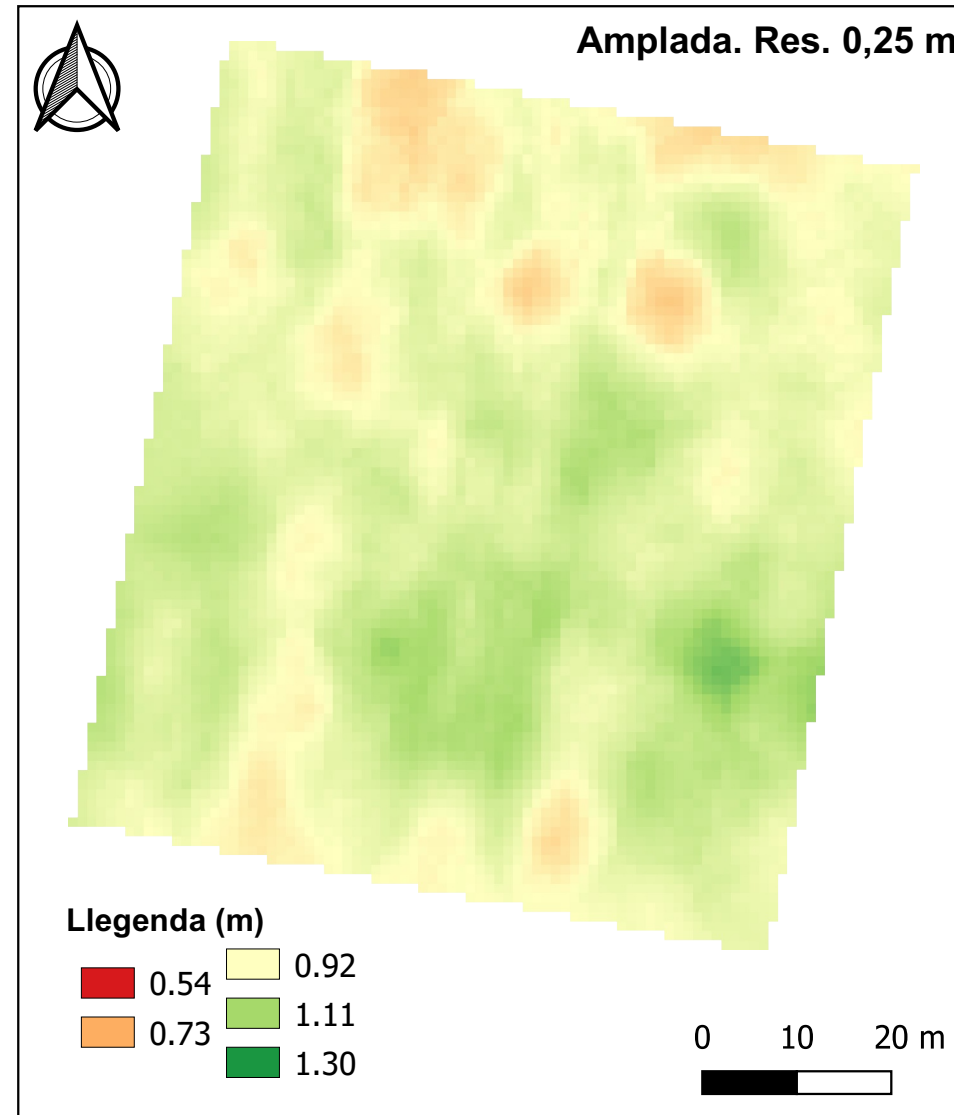
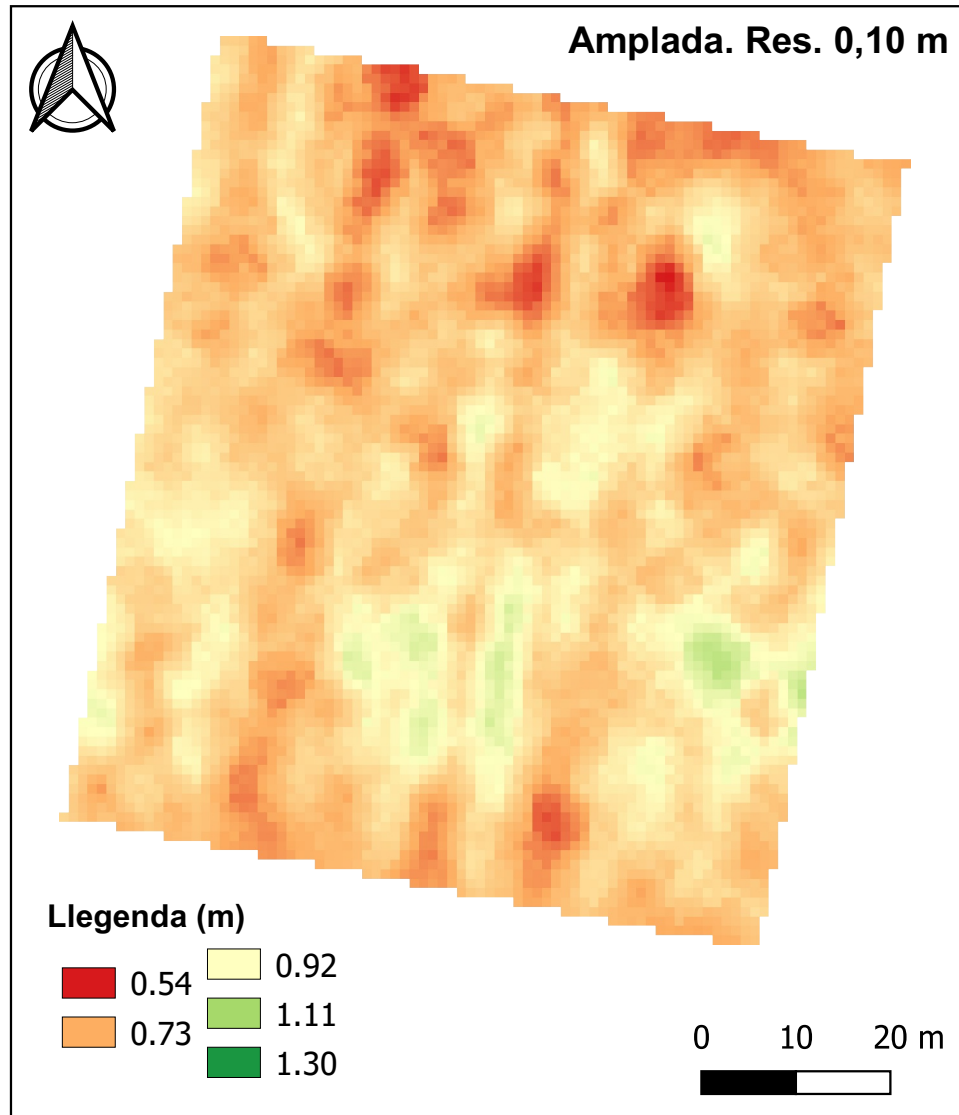
TÍTOL DEL PROJECTE:
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una
plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental
de fertirrigació.

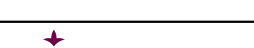

DATA:
Lleida, juny 2020

TÍTOL DEL MAPA:
Alçades i variogrames a les resolucions de 0,10 m; 0,25 m
i 0,50 m (20/09/2019).

ESCALA:
1:800

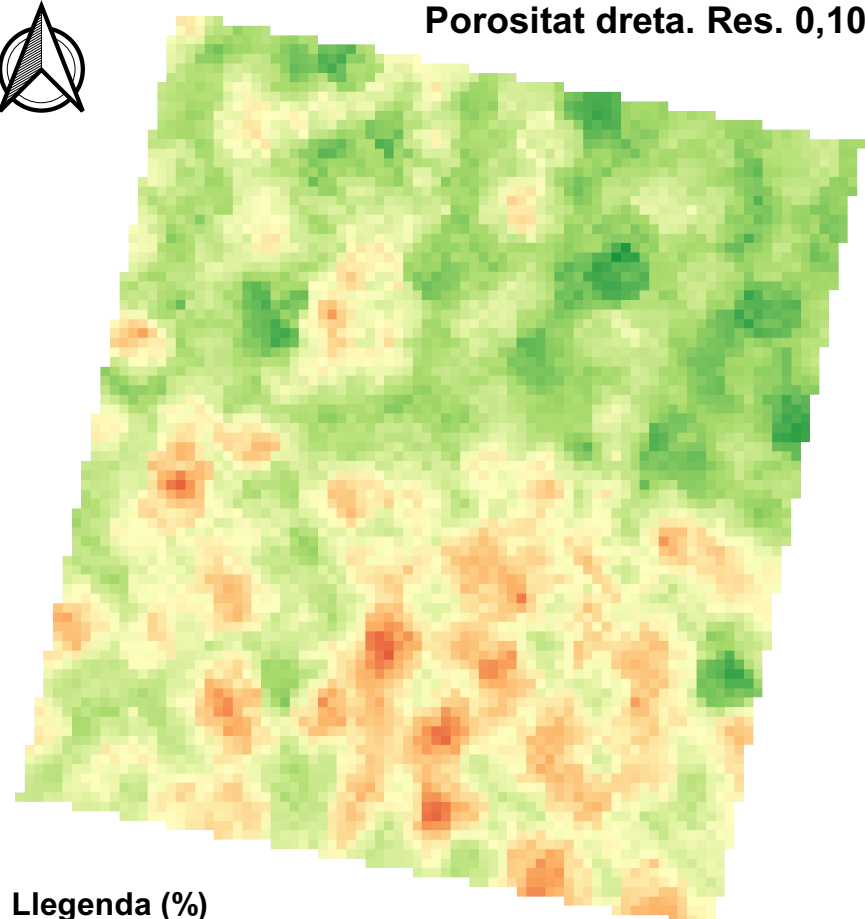




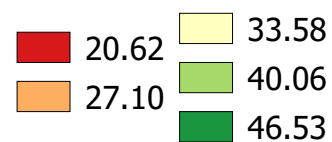
AUTOR: HELENA CAMATS TERRÉ	NÚMERO DE MAPA: 08 de 41	GEOREFENCIACIÓ: ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0	TÍTOL DEL PROJECTE: Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.	DATA: Lleida, juny 2020
 Universitat de Lleida  Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària	TÍTOL DEL MAPA: Amplades i variogrames a les resolucions de 0,10 m; 0,25 m i 0,50 m (20/09/2019).			ESCALA: 1:800



Porositat dreta. Res. 0,10 m



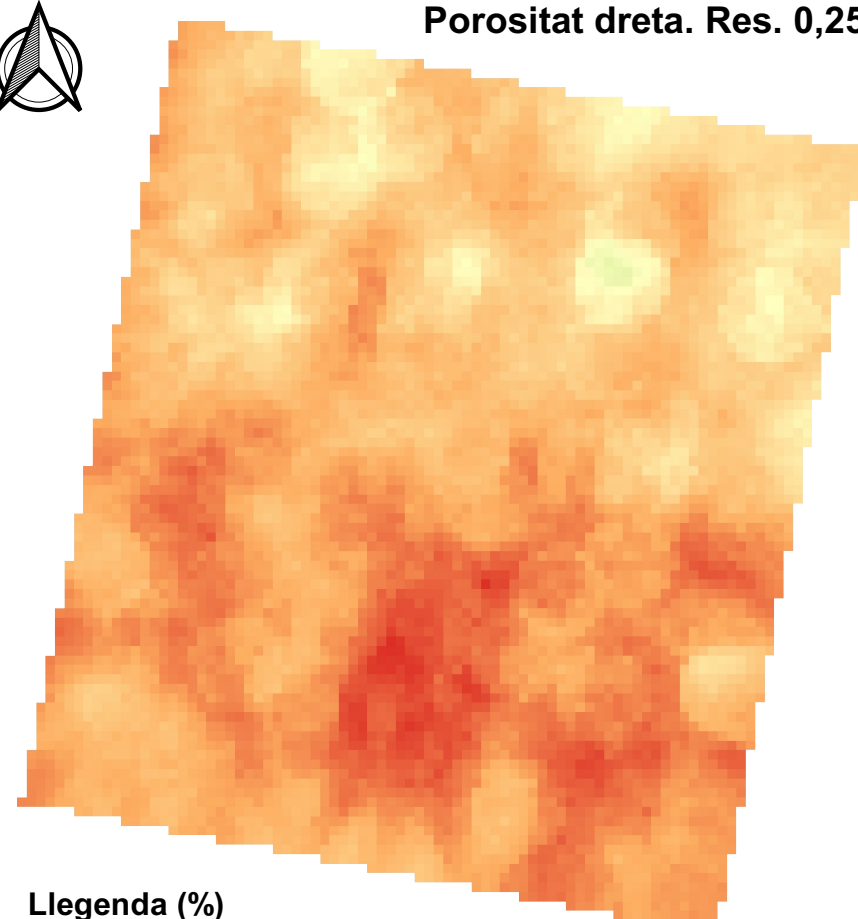
Llegenda (%)



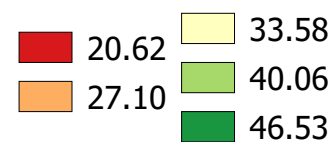
0 10 20 m



Porositat dreta. Res. 0,25 m



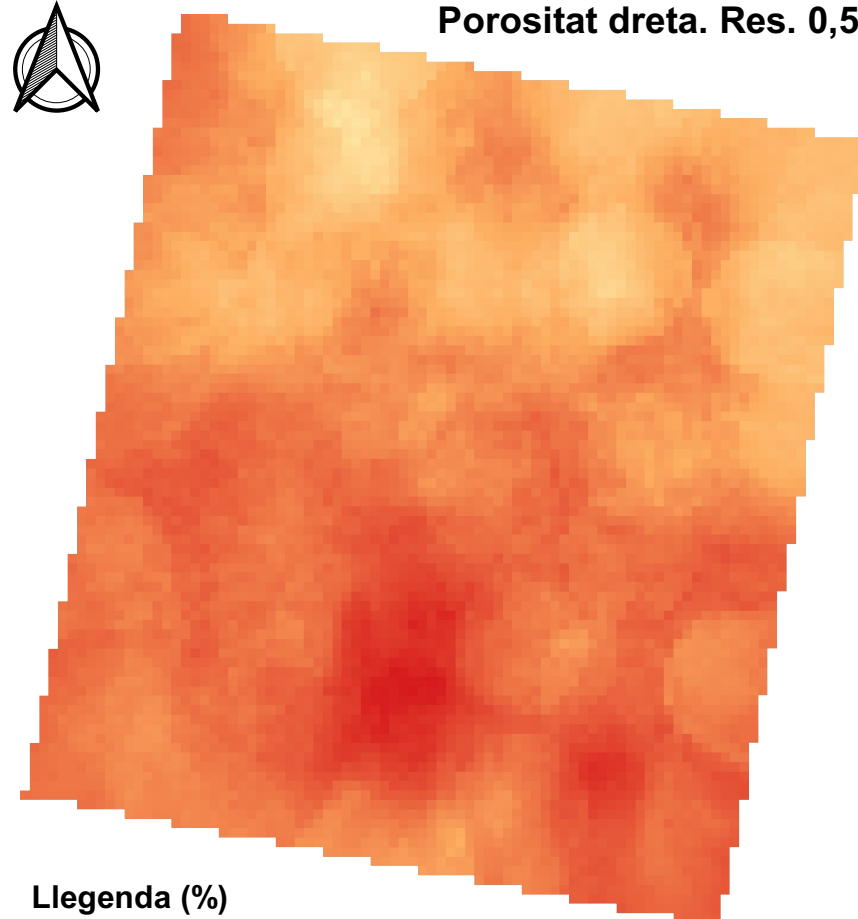
Llegenda (%)



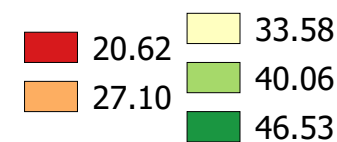
0 10 20 m



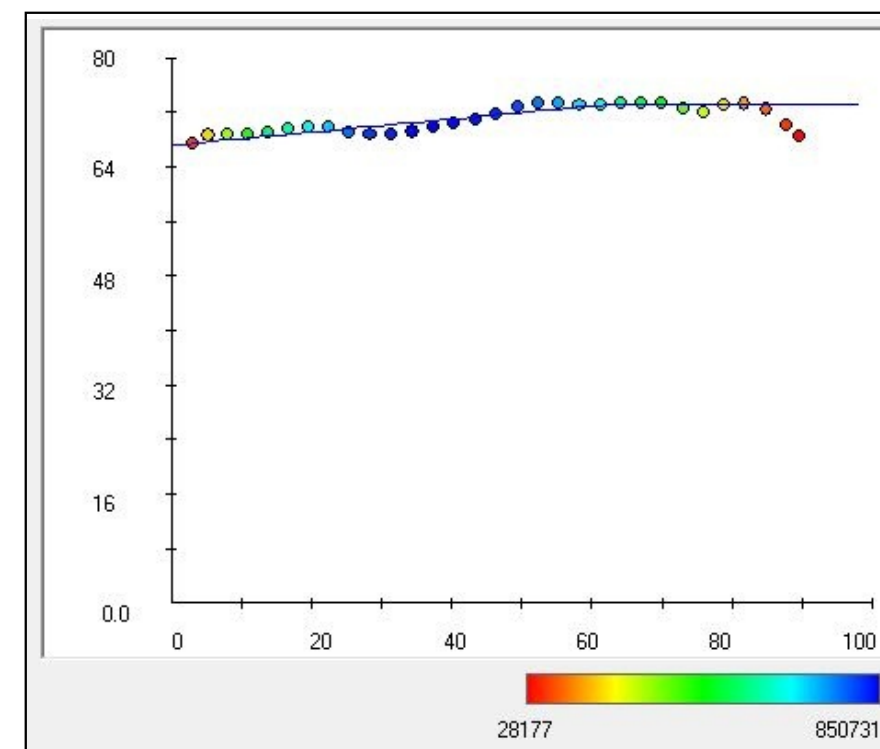
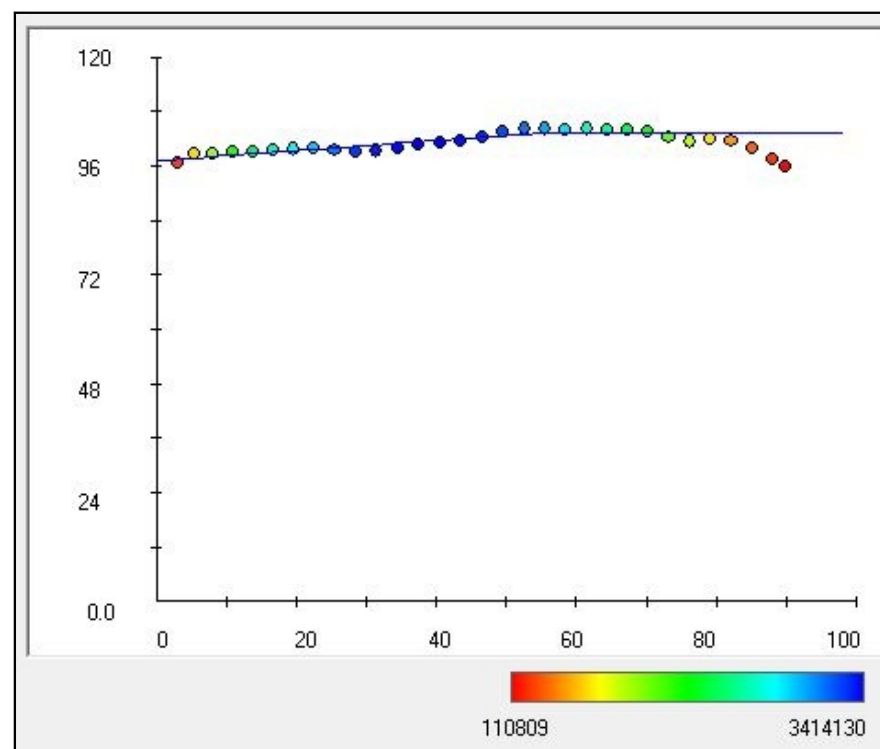
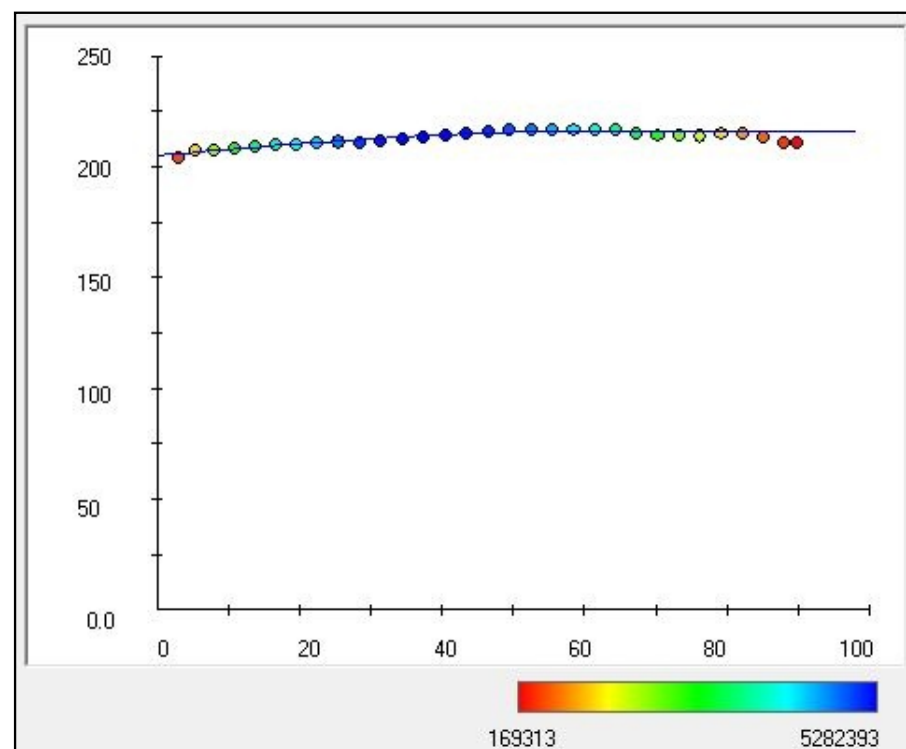
Porositat dreta. Res. 0,50 m



Llegenda (%)



0 10 20 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
09 de 41

GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

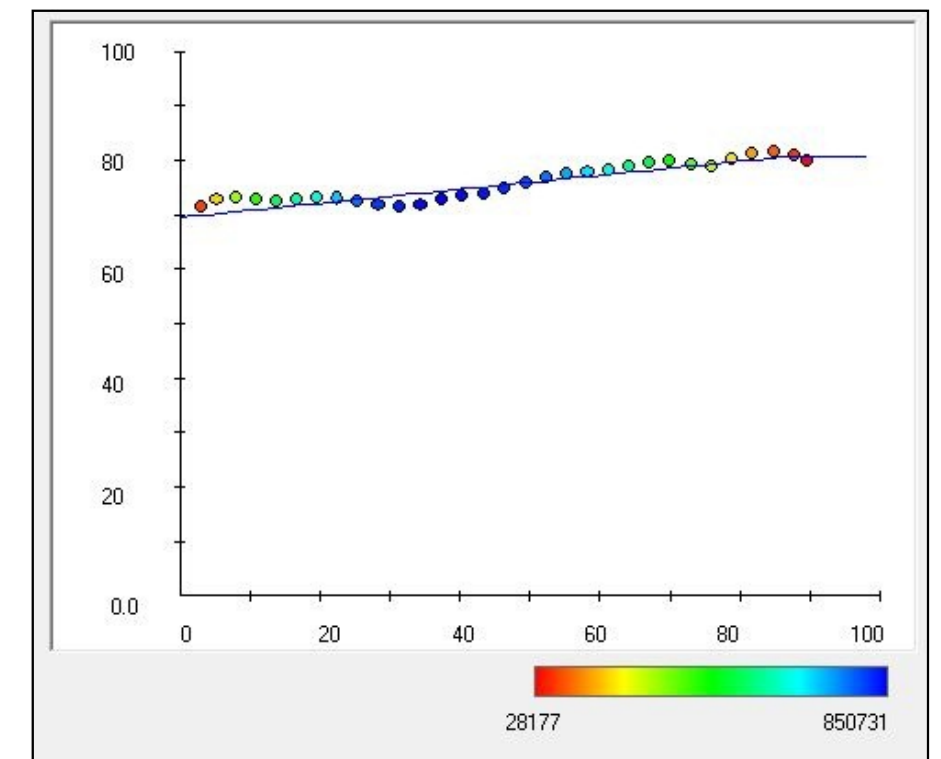
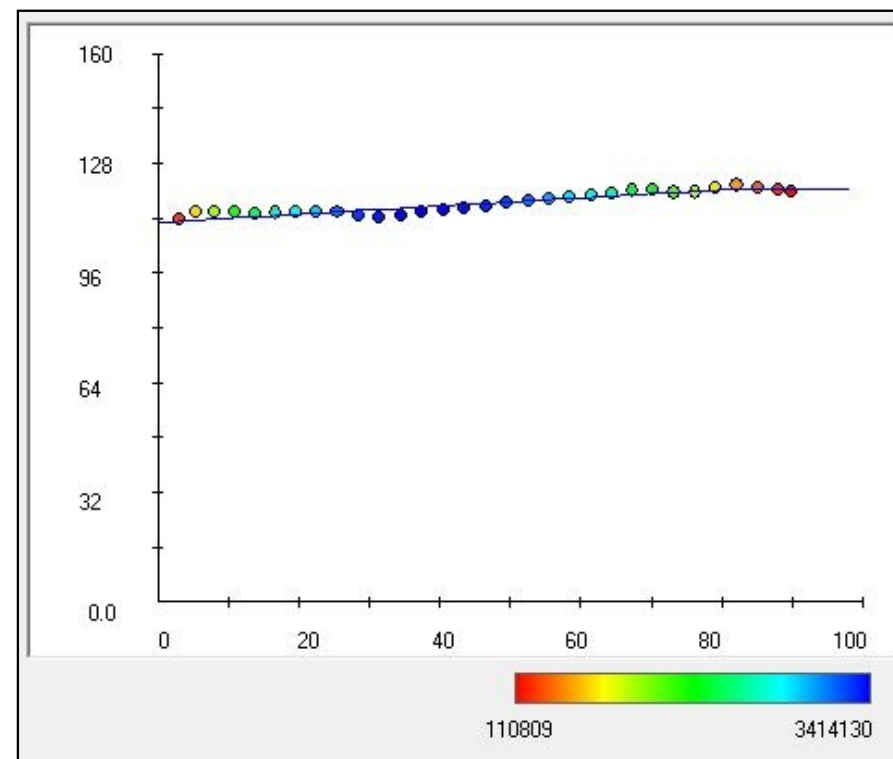
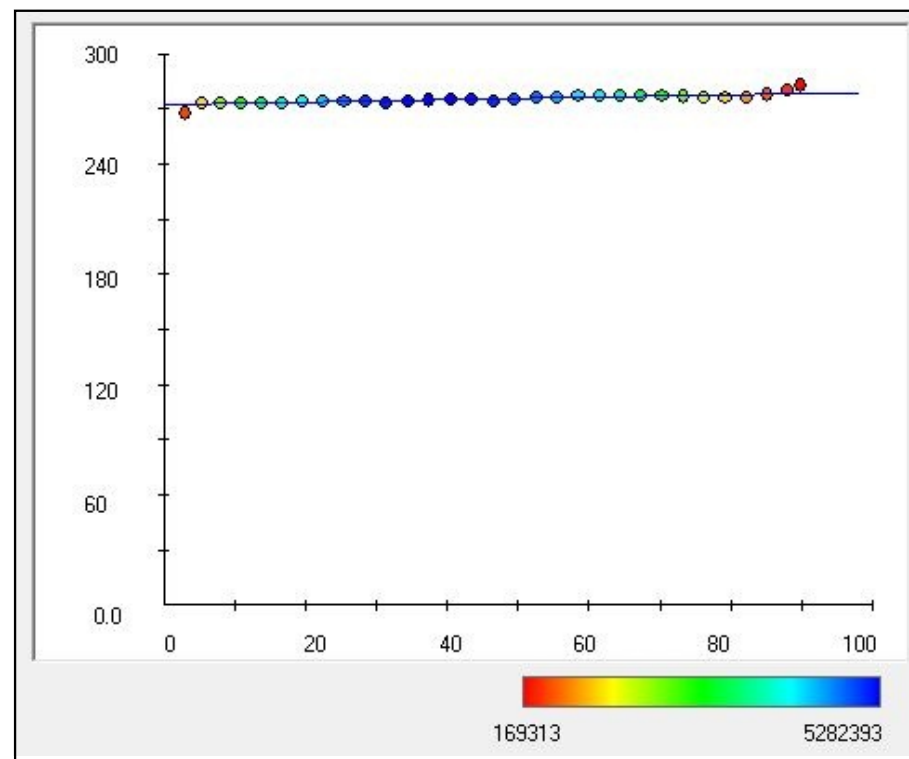
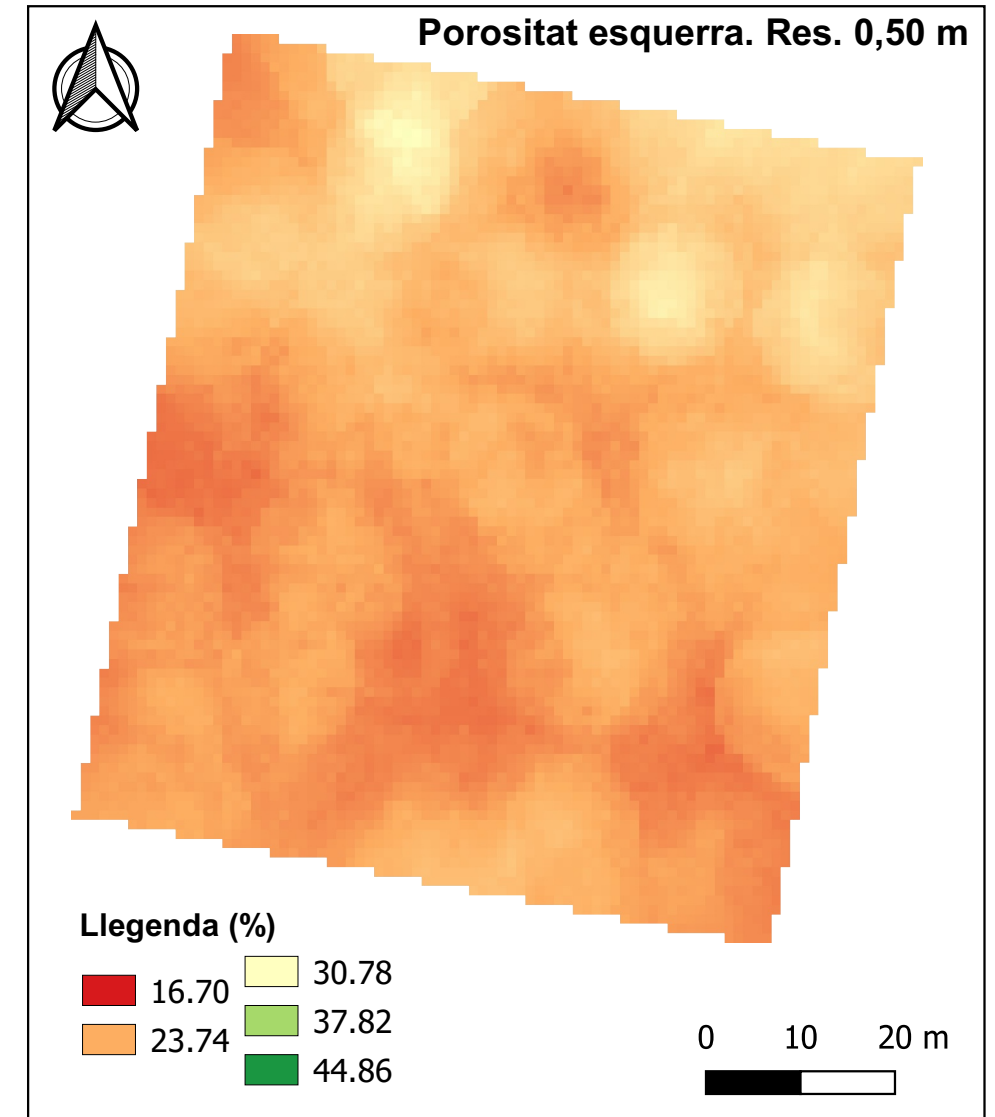
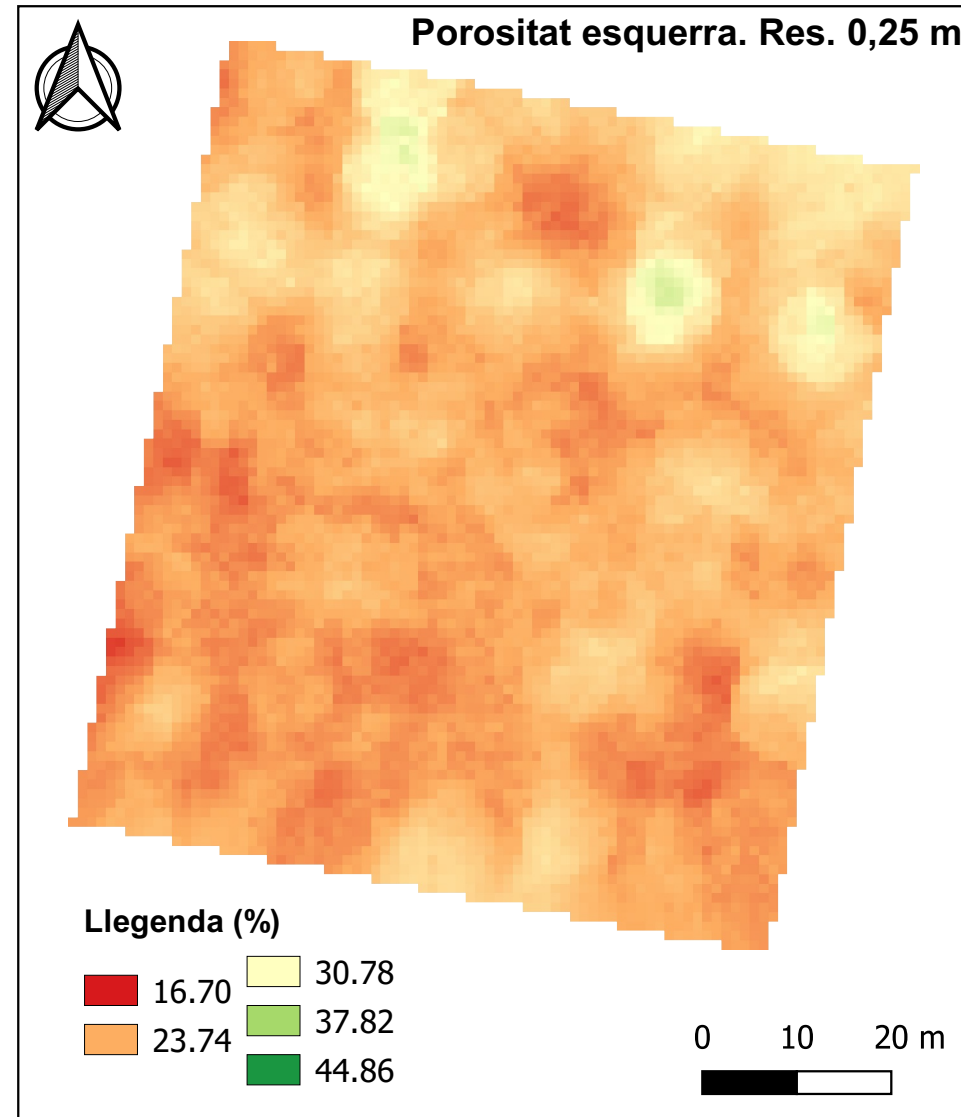
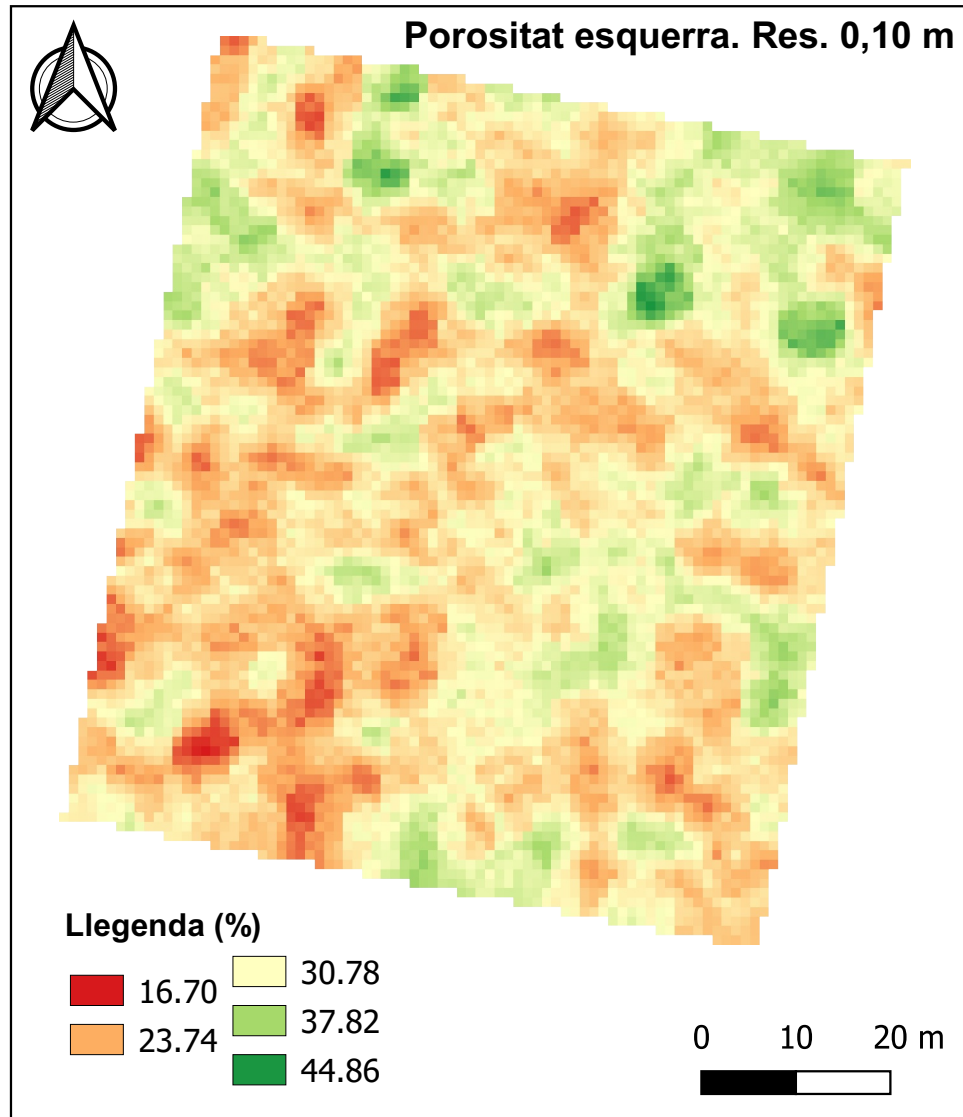
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.



DATA:
Lleida, juny 2020

ESCALA:
1:800



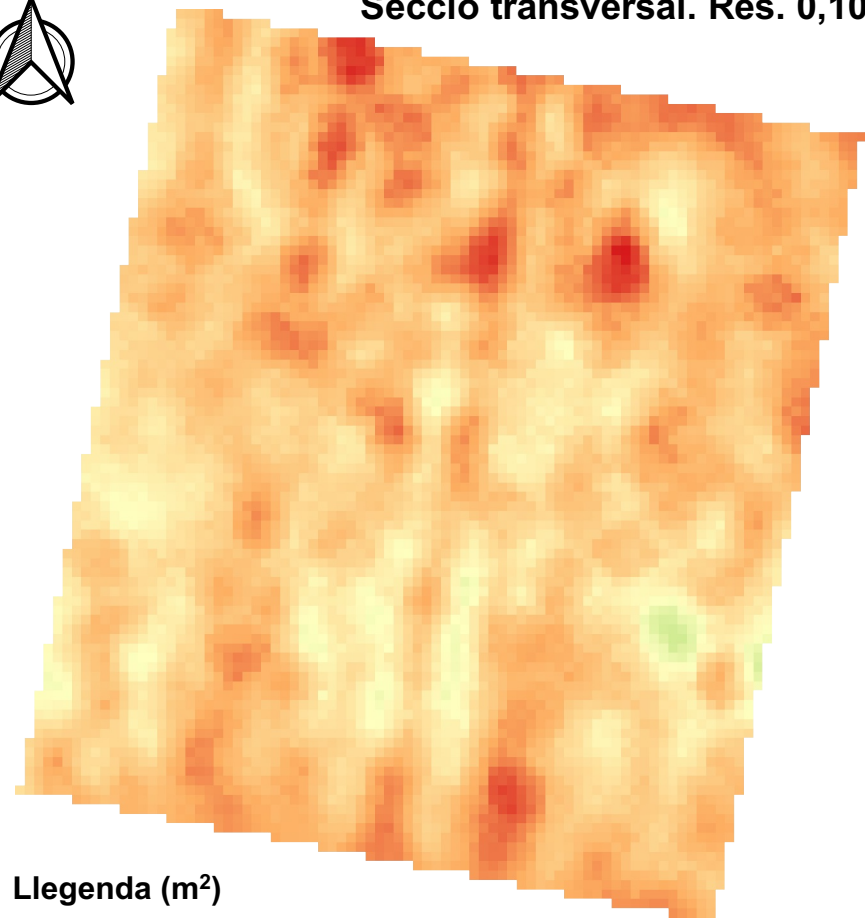
TÍTOL DEL MAPA:
Porositats dretes i variogrames a les resolucions de 0,10 m; 0,25 m i 0,50 m (20/09/2019).



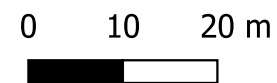
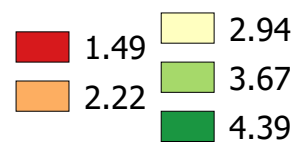
AUTOR: HELENA CAMATS TERRÉ	NÚMERO DE MAPA: 10 de 41	GEOREFENCIACIÓ: ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0	TÍTOL DEL PROJECTE: Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.	DATA: Lleida, juny 2020
 Universitat de Lleida 	TÍTOL DEL MAPA: Porositats esquerres i variogrames a les resolucions de 0,10 m; 0,25 m i 0,50 m (20/09/2019).			ESCALA: 1:800



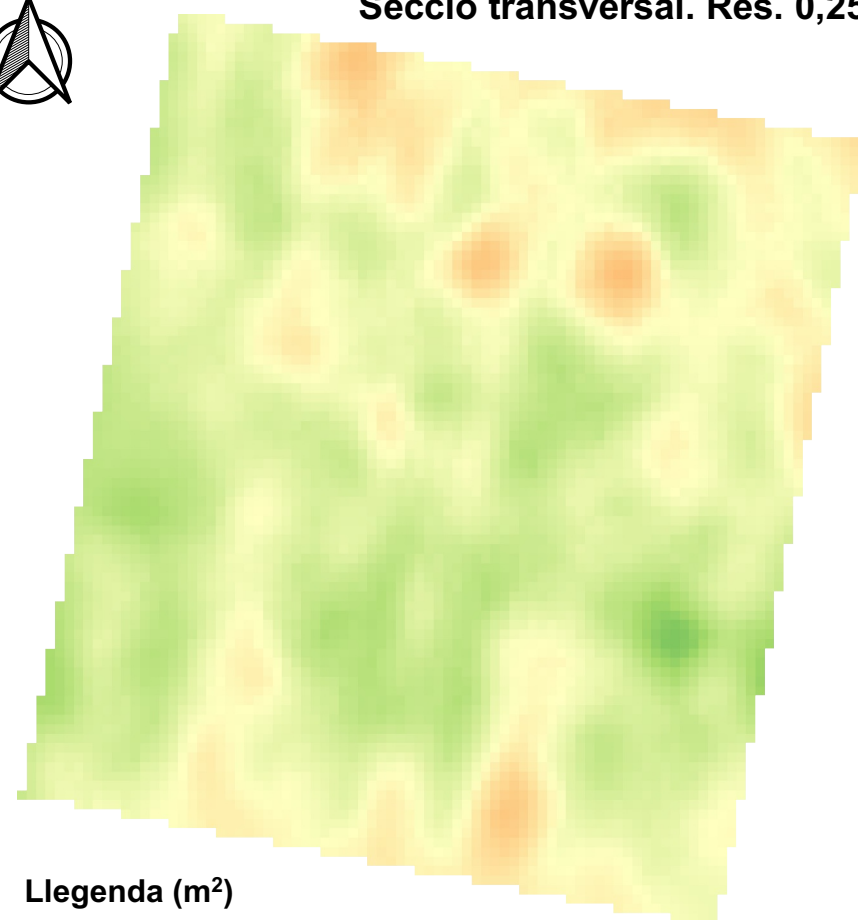
Secció transversal. Res. 0,10 m



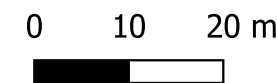
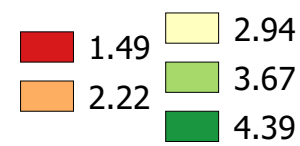
Llegenda (m²)



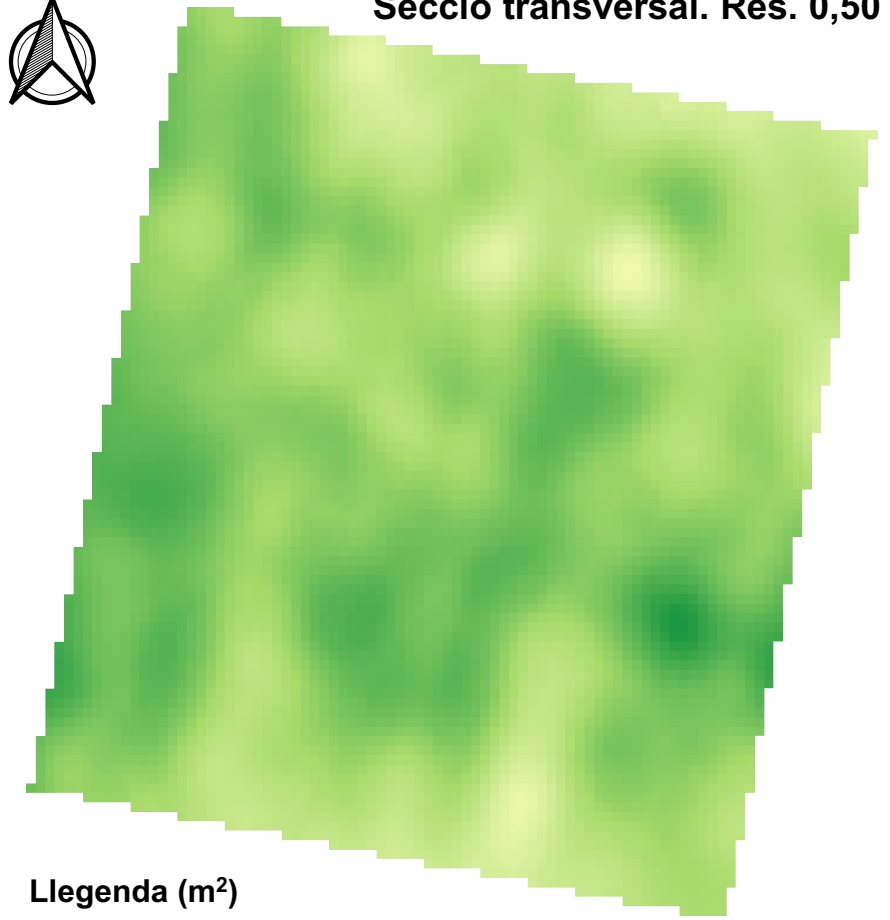
Secció transversal. Res. 0,25 m



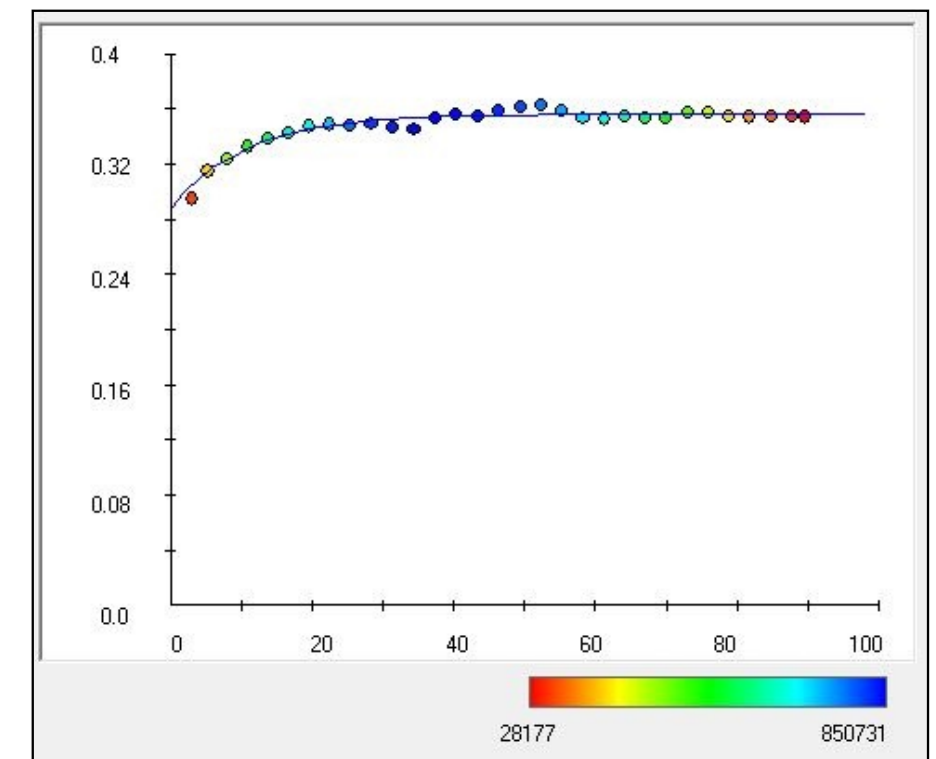
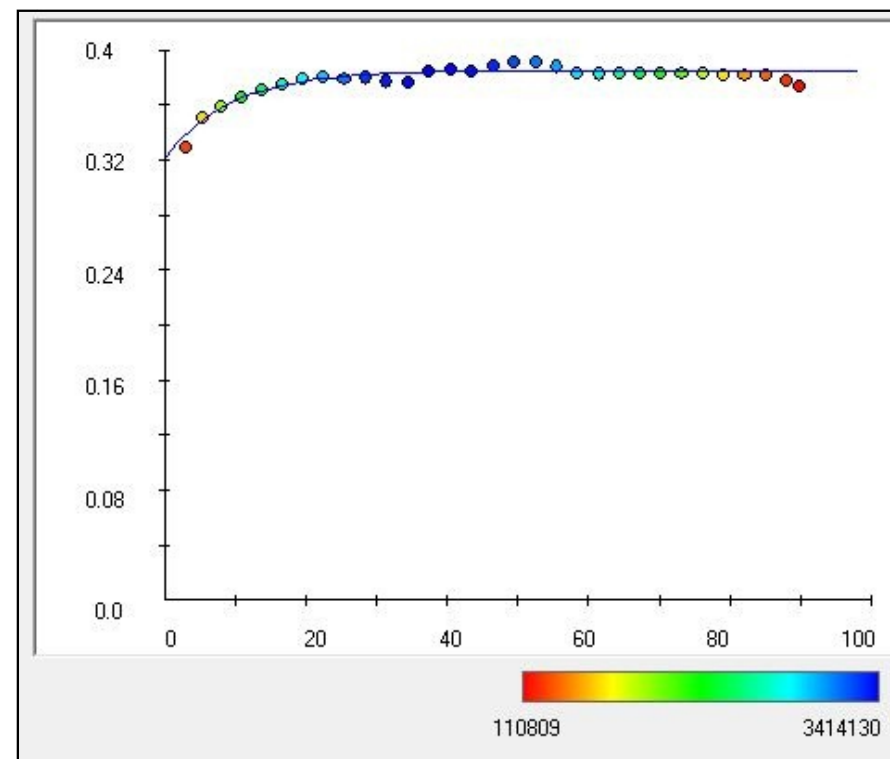
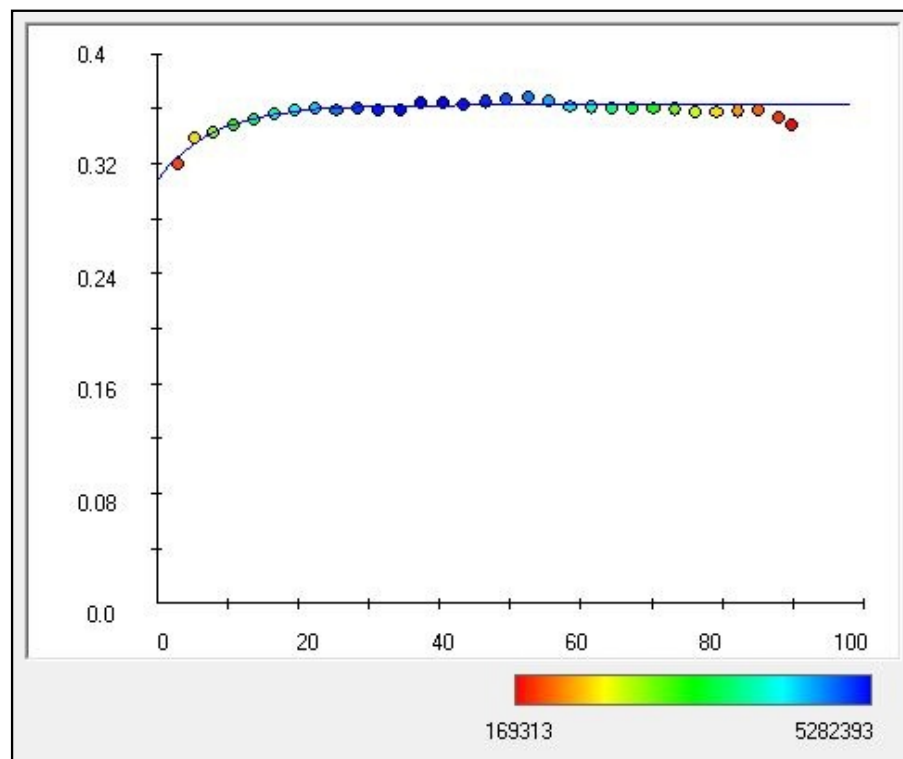
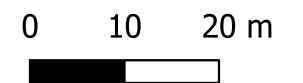
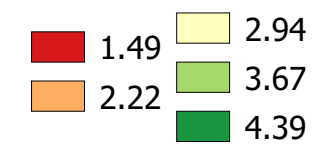
Llegenda (m²)



Secció transversal. Res. 0,50 m



Llegenda (m²)



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
11 de 41

GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

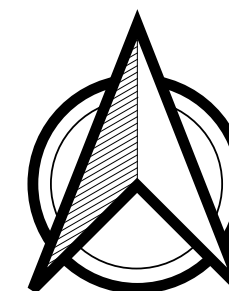
TÍTOL DEL PROJECTE:

Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una
plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental
de fertirrigació.

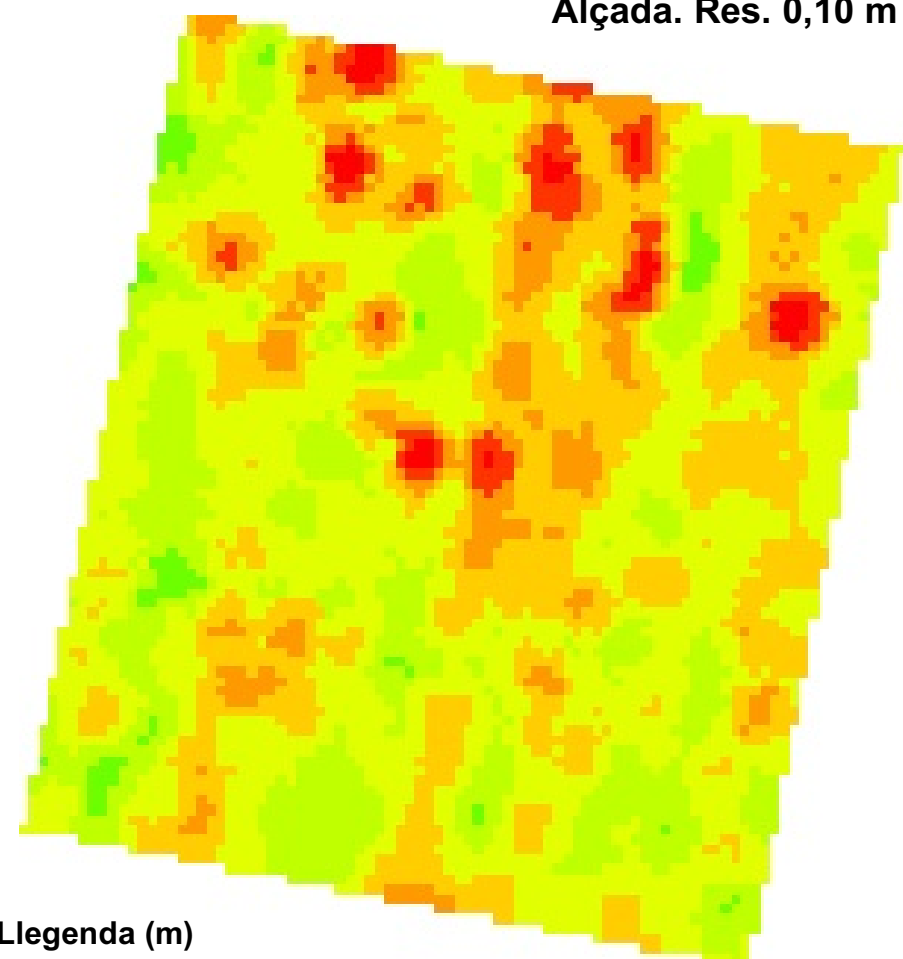
DATA:
Lleida, juny 2020

TÍTOL DEL MAPA:
Seccions transversals i variogrames a les resolucions de
0,10 m; 0,25 m i 0,50 m (20/09/2019)

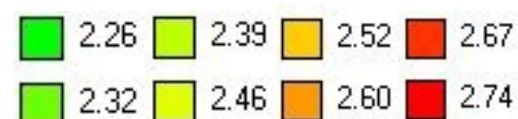
ESCALA:
1:800



Alçada. Res. 0,10 m

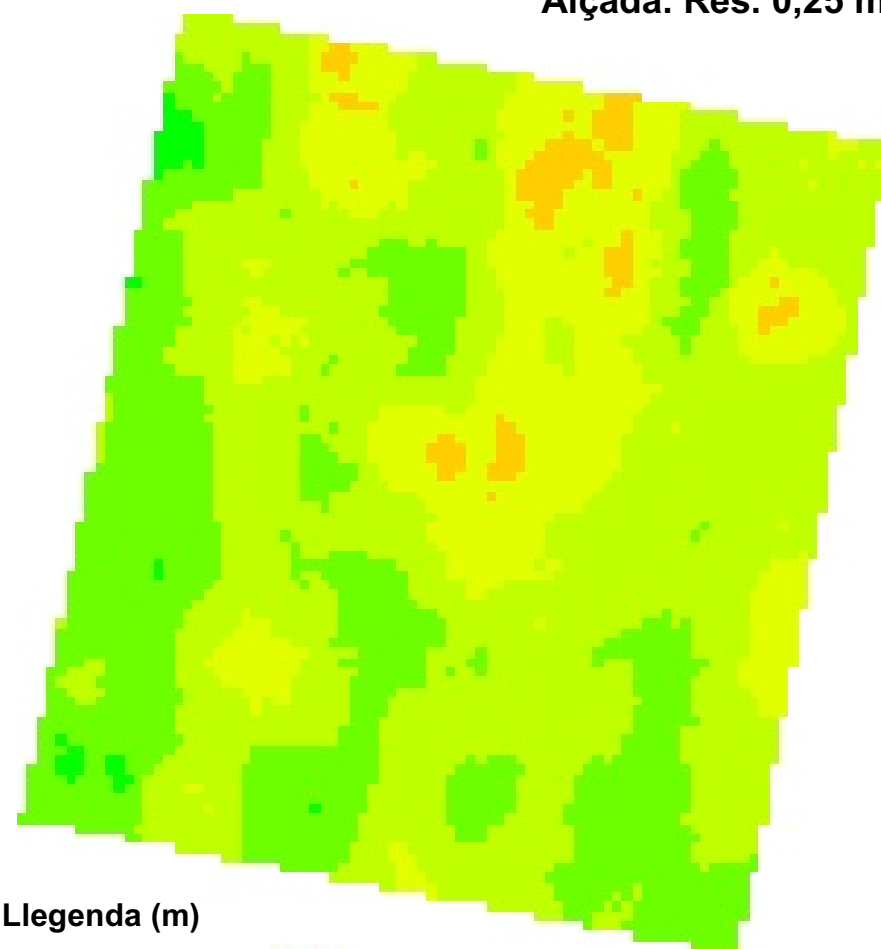


Llegenda (m)

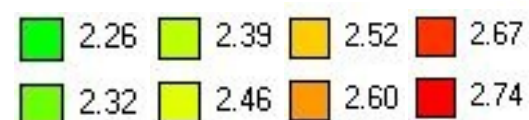


0 10 20 m

Alçada. Res. 0,25 m

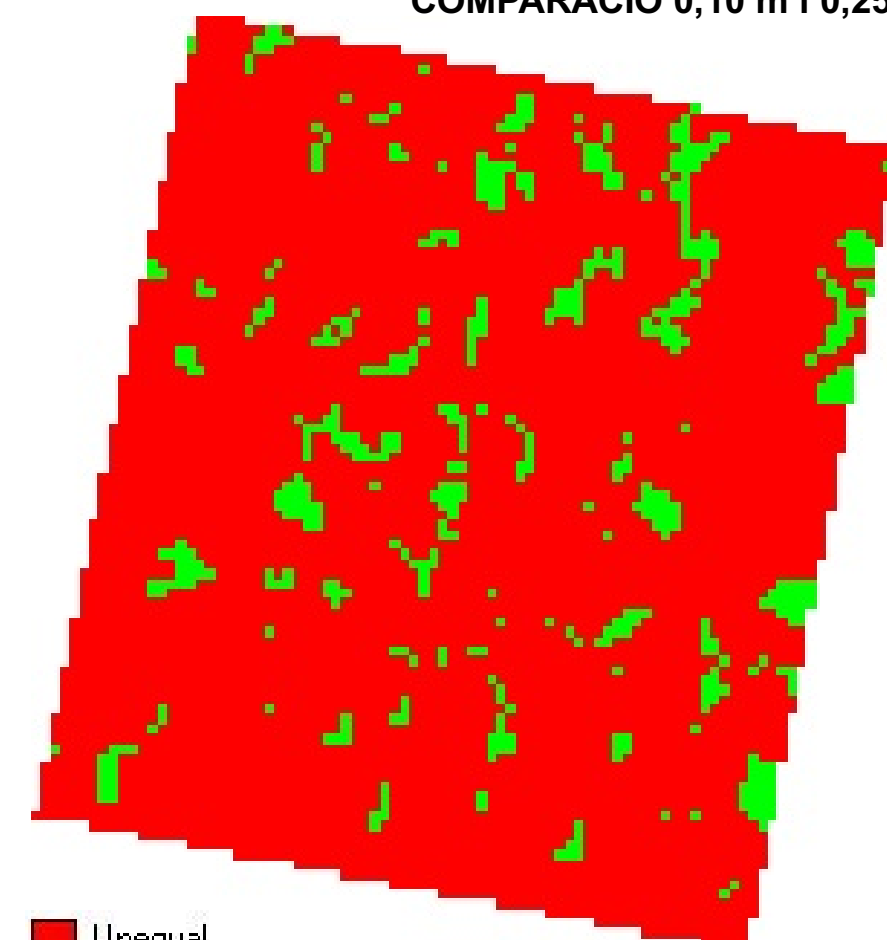


Llegenda (m)



0 10 20 m

COMPARACIÓ 0,10 m i 0,25 m



Unequal
Equal

0 10 20 m

DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,10 m

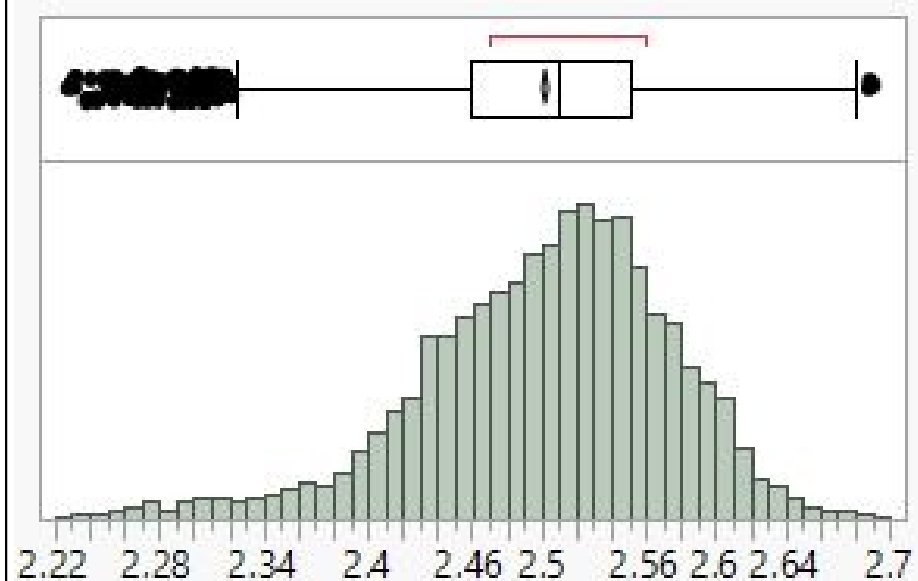
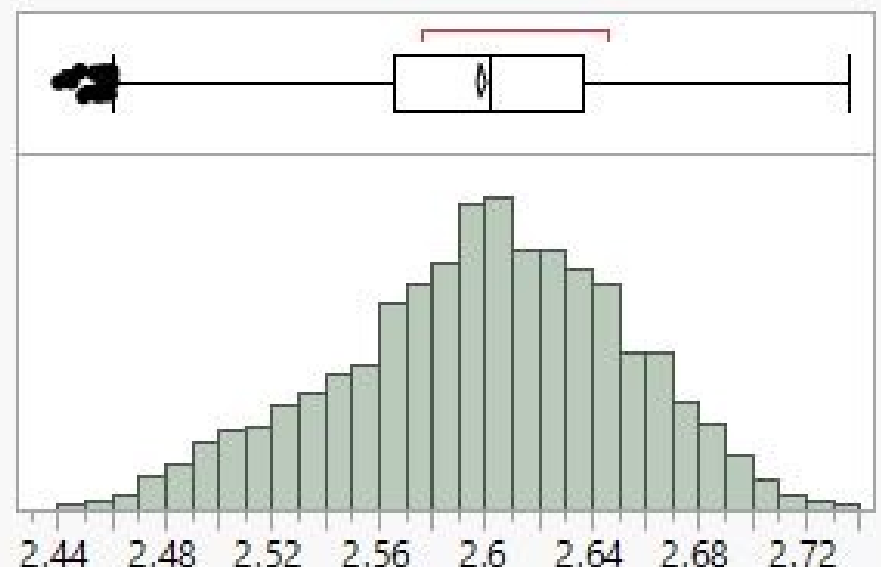


DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,25 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
12 de 41

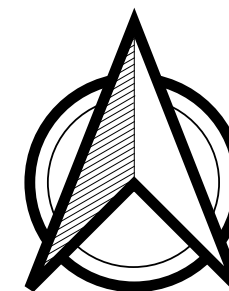
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

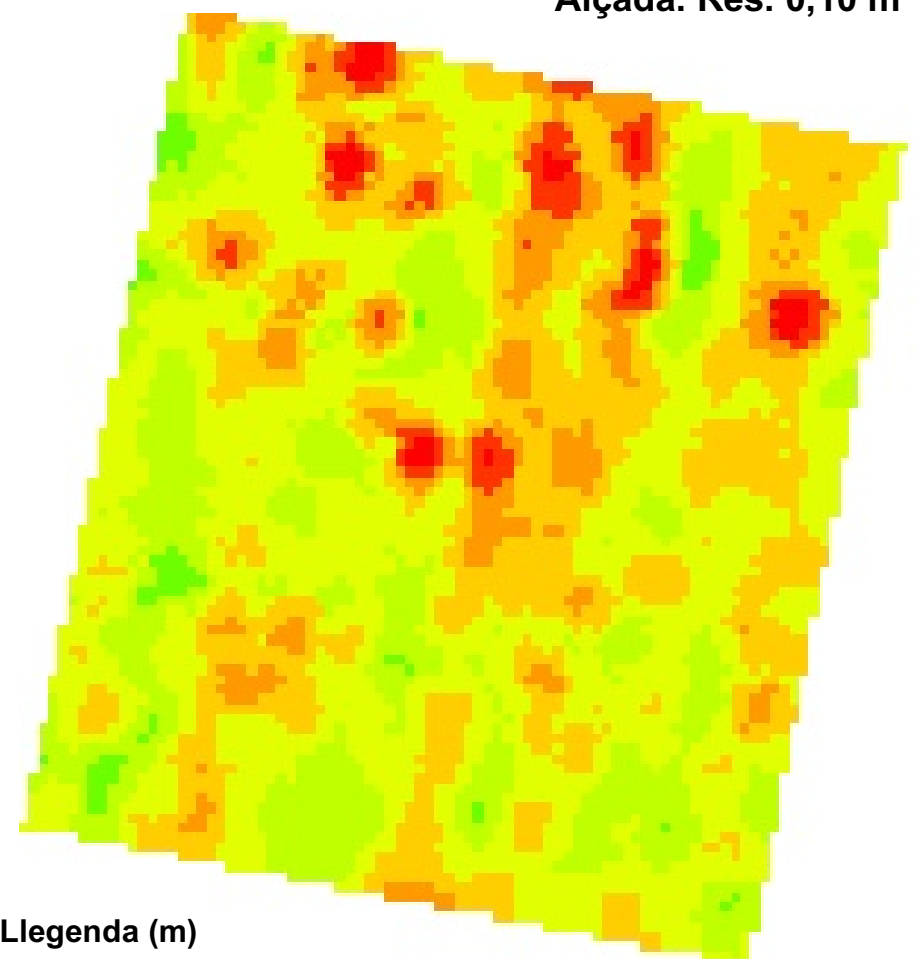
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

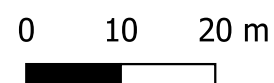
Lleida, juny 2020



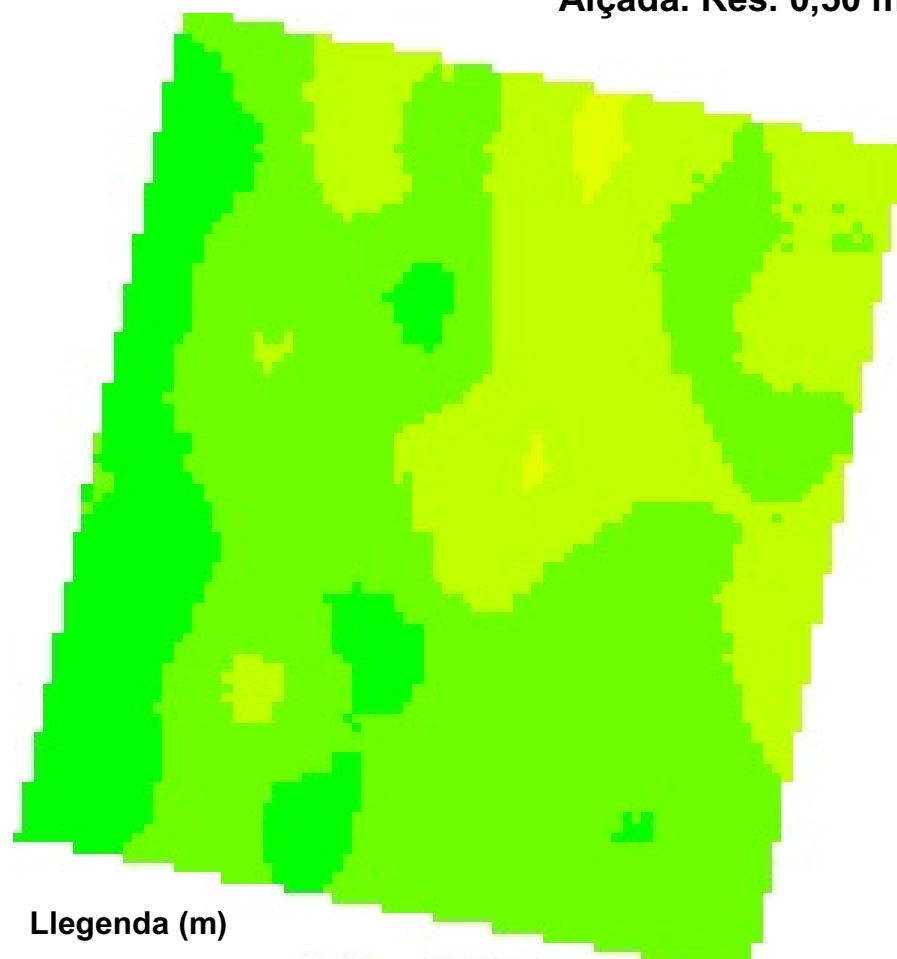
Alçada. Res. 0,10 m



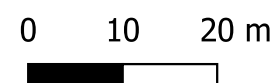
Llegenda (m)



Alçada. Res. 0,50 m



Llegenda (m)



COMPARACIÓ 0,10 m i 0,50 m

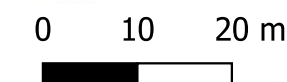
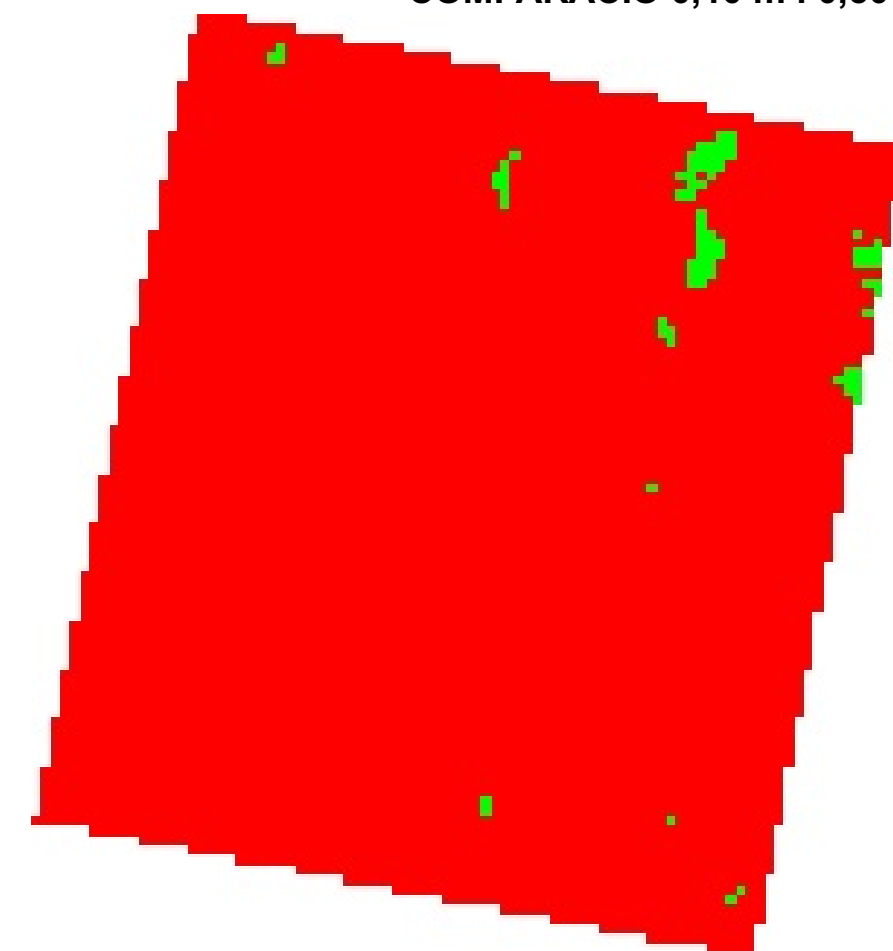


DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,10 m

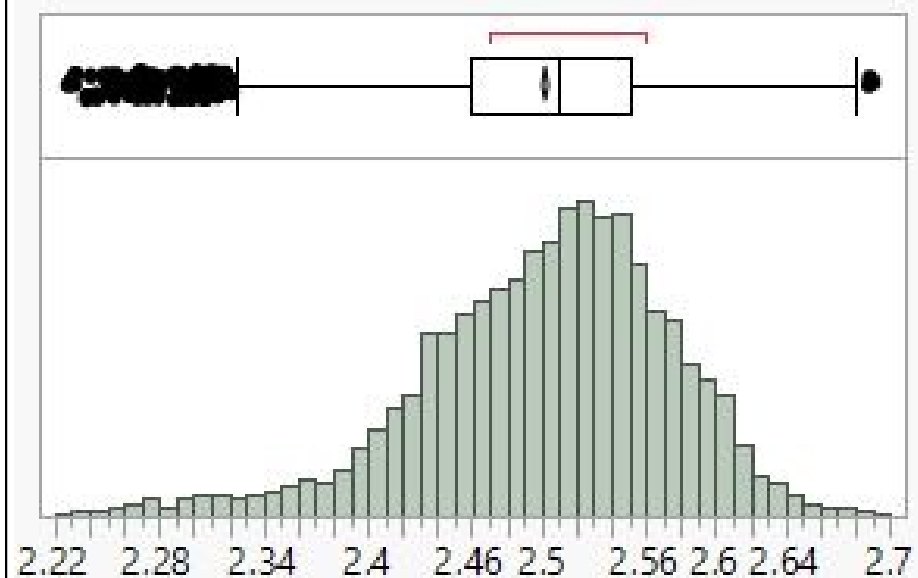
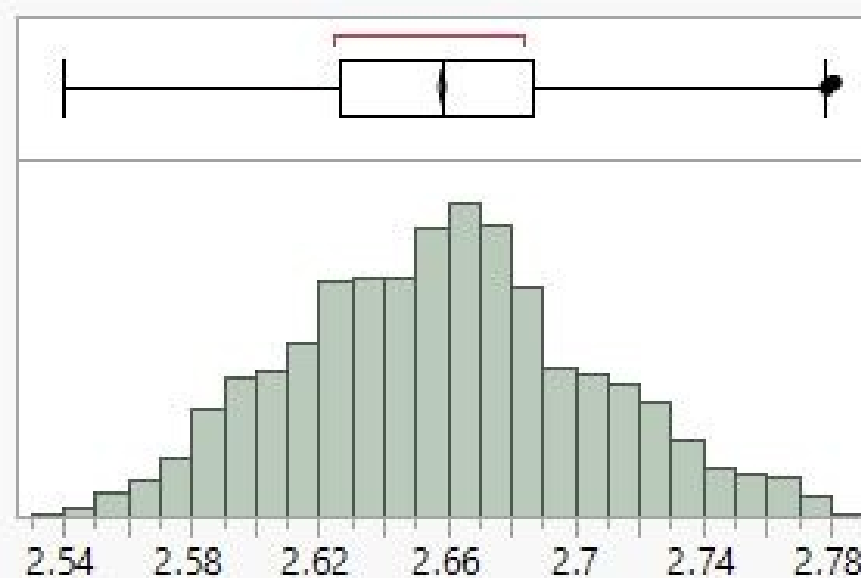


DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,50 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
13 de 41

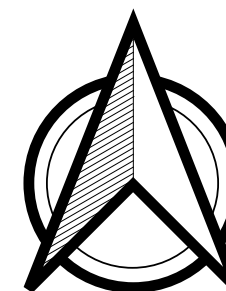
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

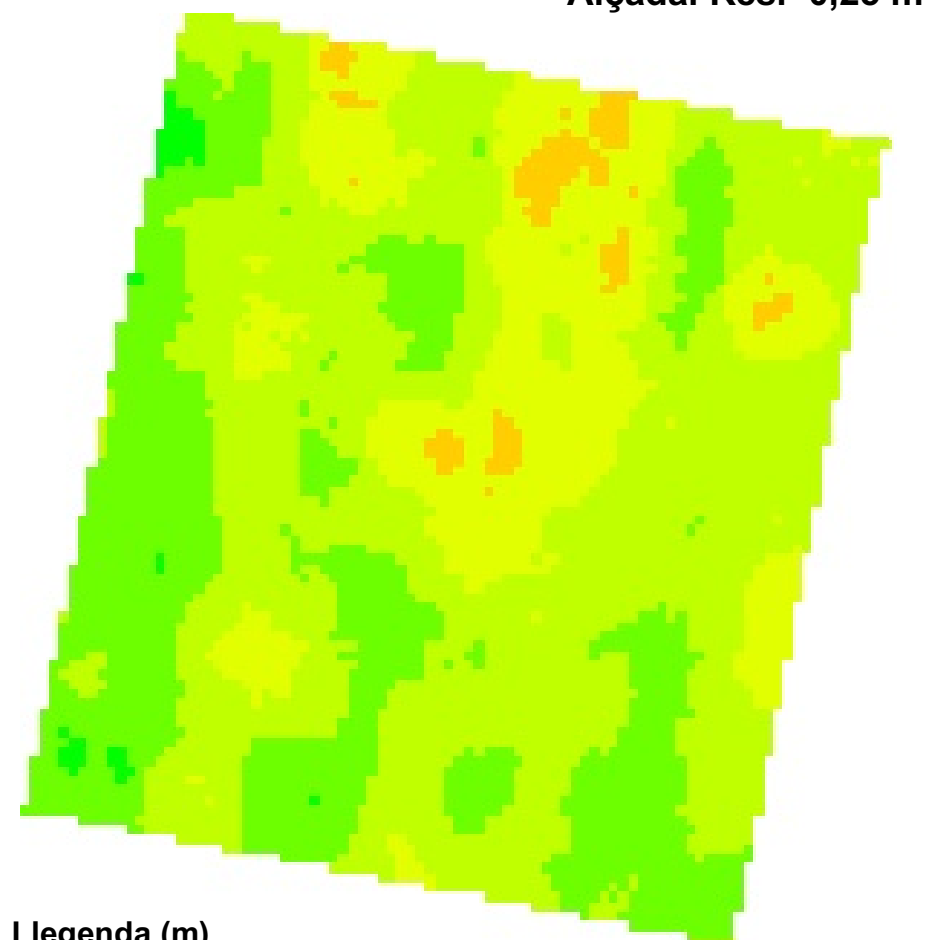
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

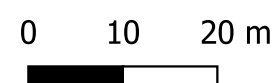
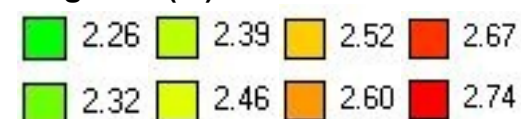
Lleida, juny 2020



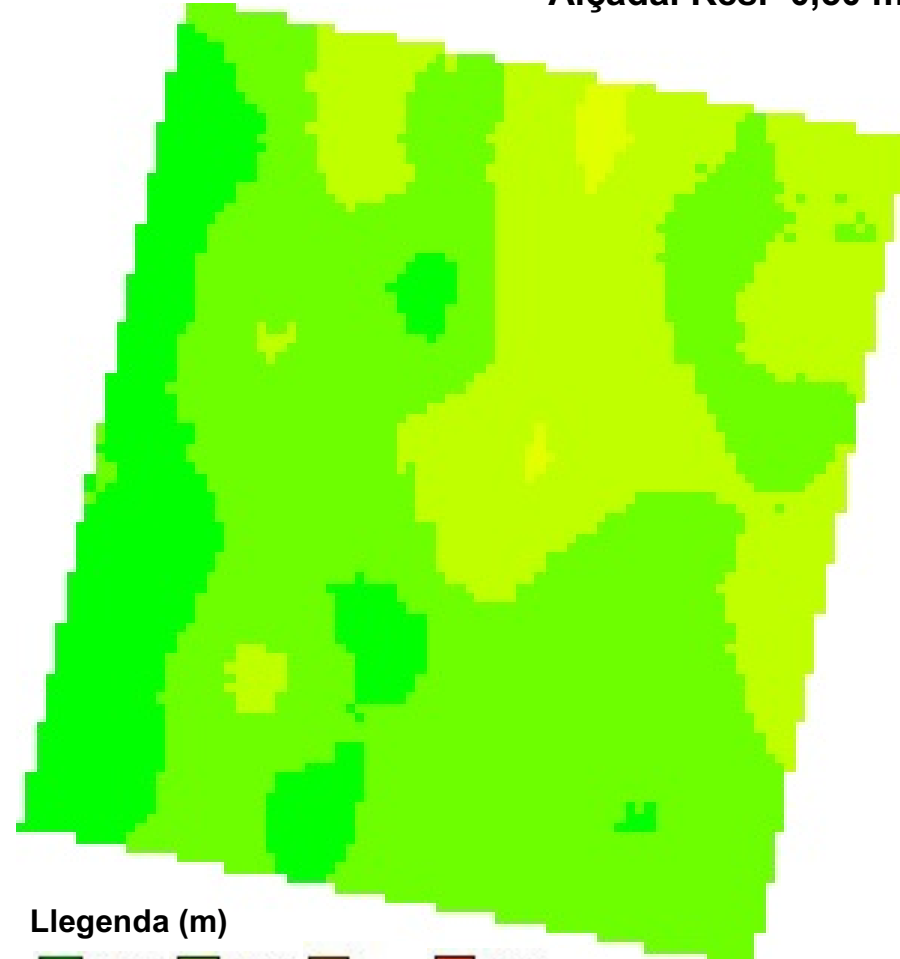
Alçada. Res. 0,25 m



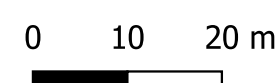
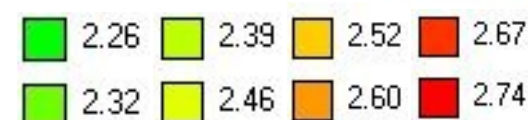
Llegenda (m)



Alçada. Res. 0,50 m



Llegenda (m)



COMPARACIÓ 0,25 m i 0,50 m

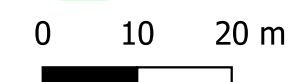
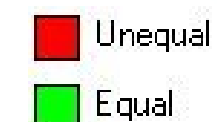
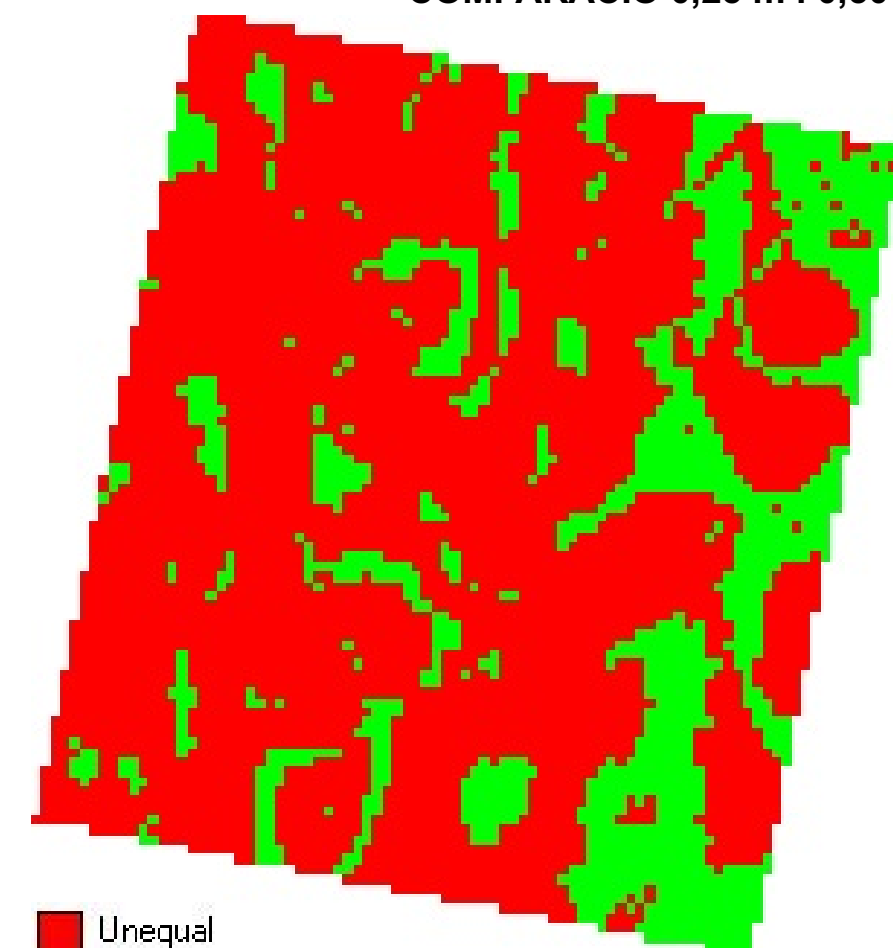


DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,10 m

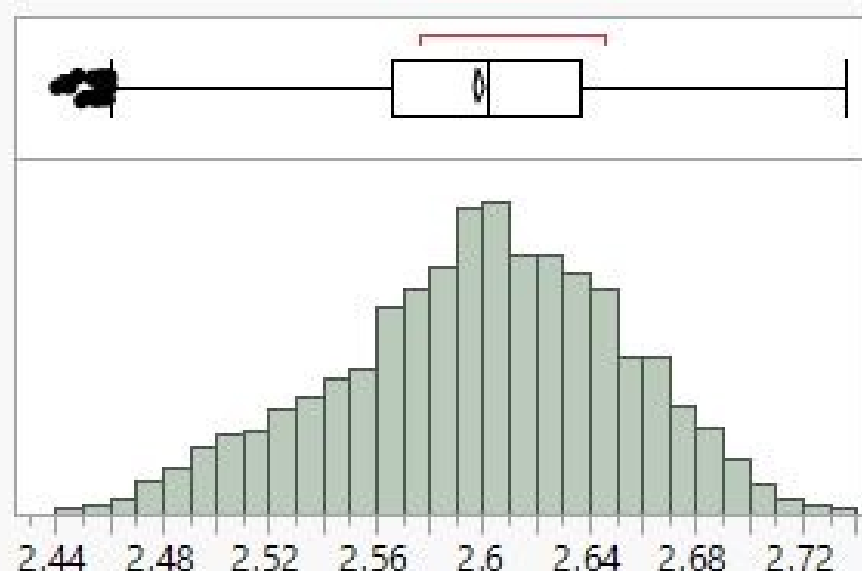
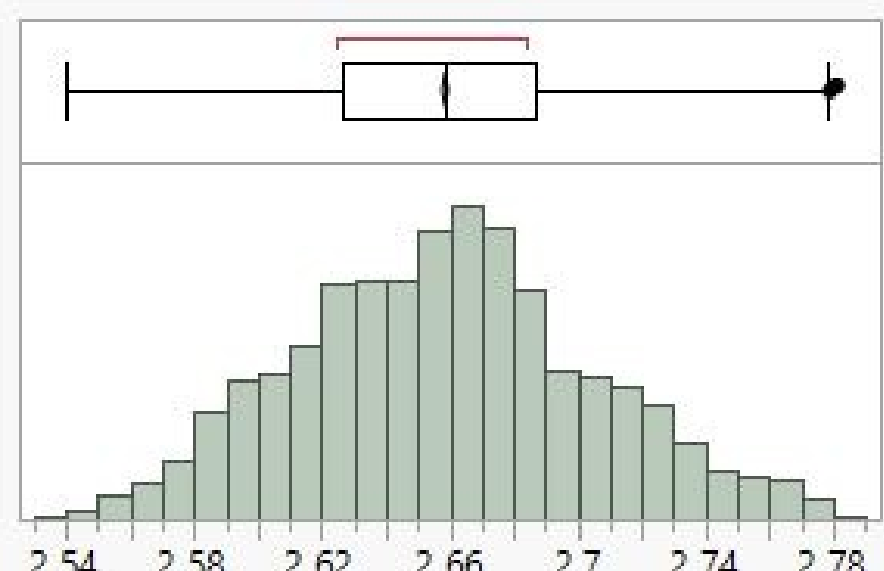


DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,50 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
14 de 41

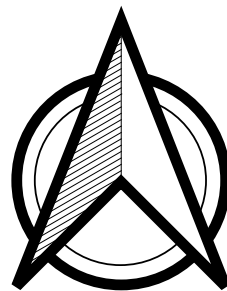
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

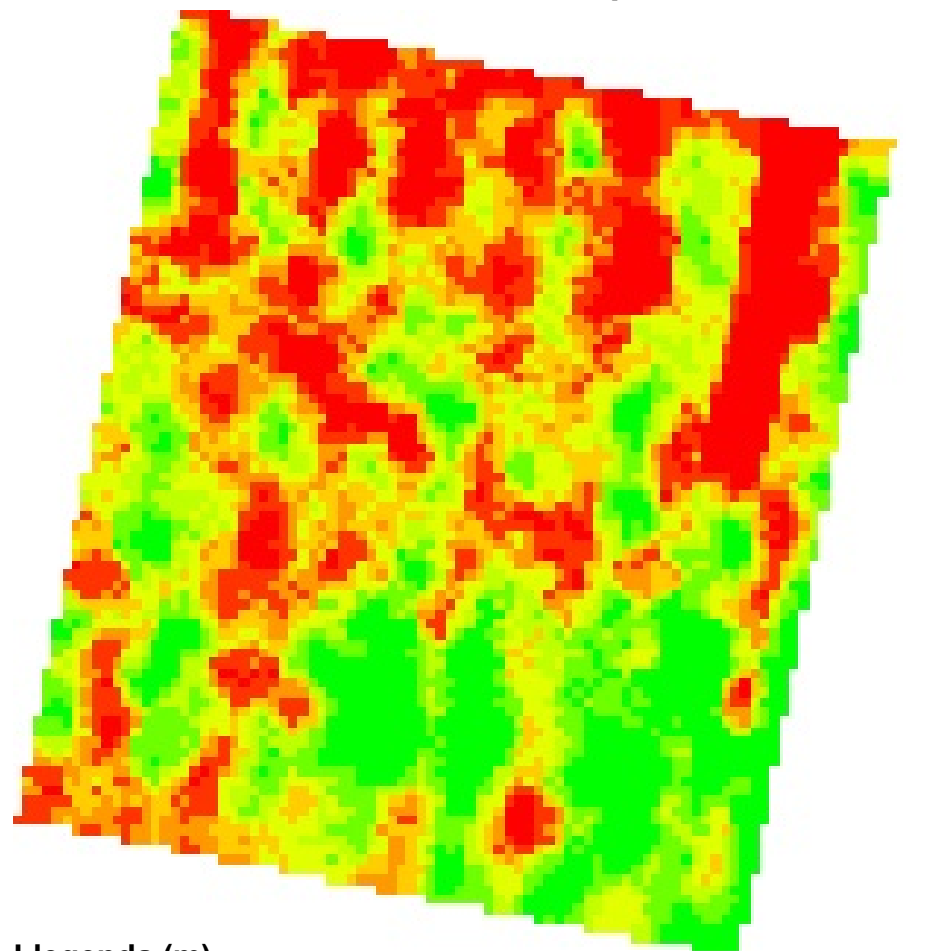
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

Lleida, juny 2020



Amplada. Res. 0,10 m

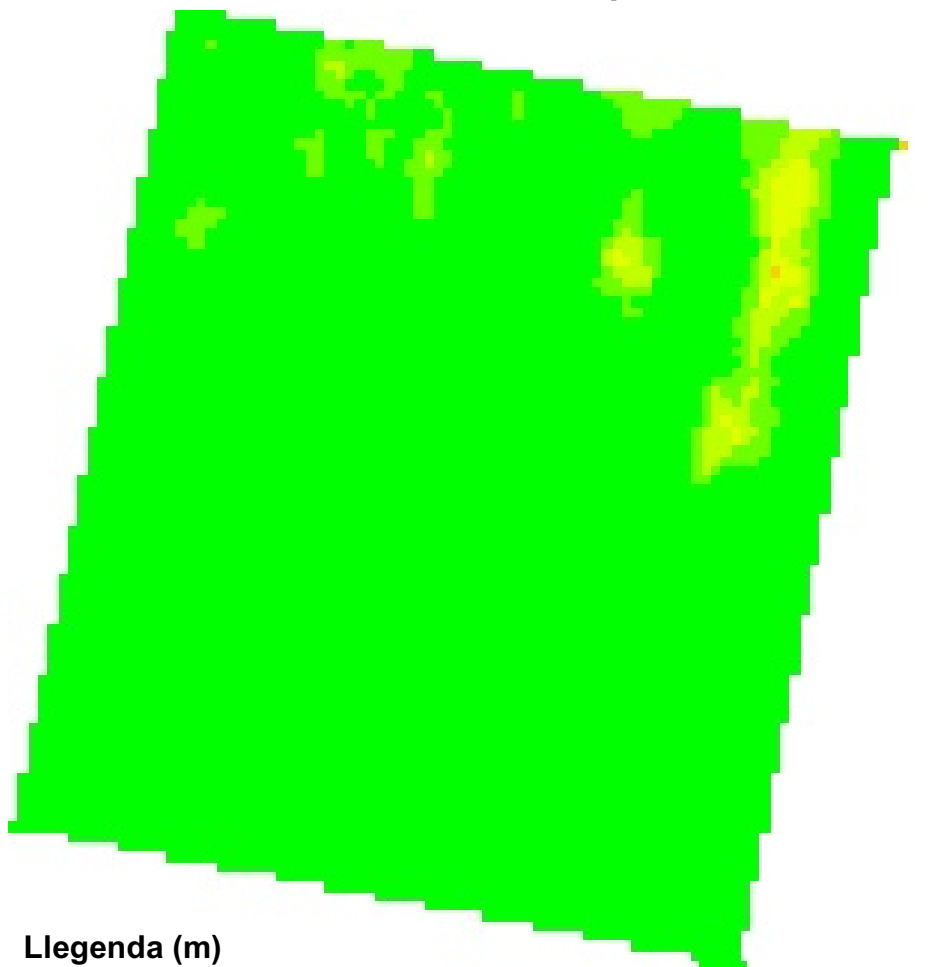


Llegenda (m)

0.49	0.60	0.64	0.68
0.58	0.62	0.66	0.85

0 10 20 m

Amplada. Res. 0,25 m

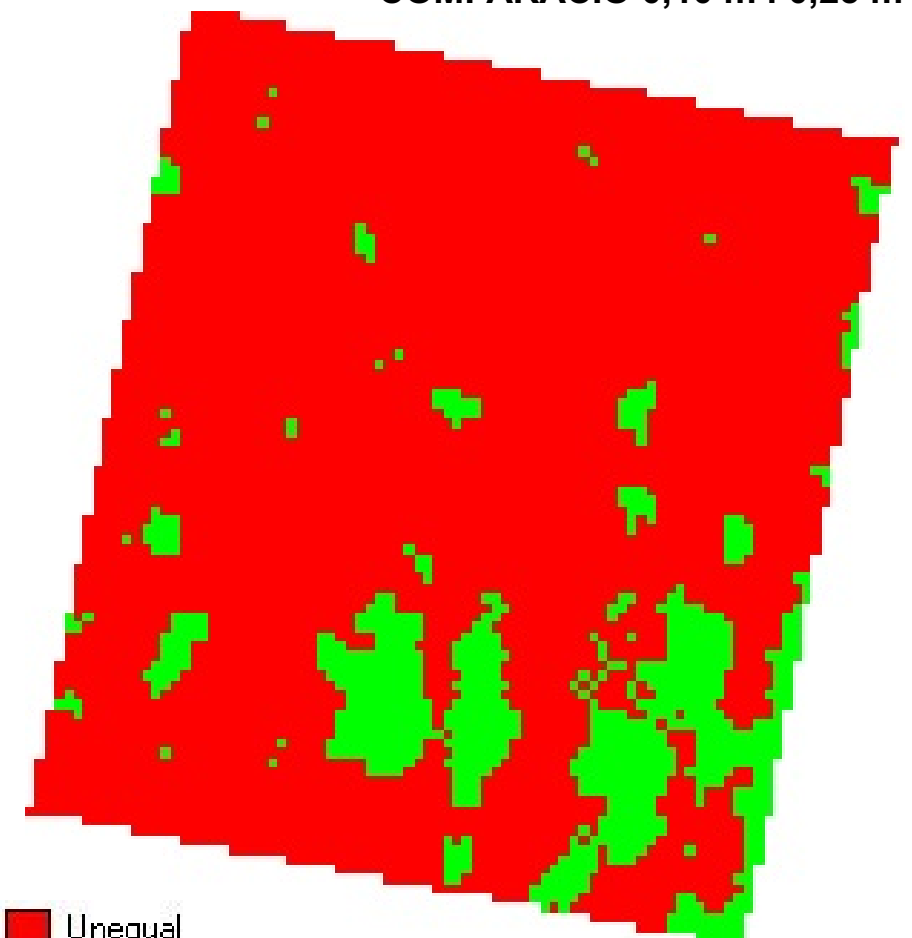


Llegenda (m)

0.49	0.60	0.64	0.68
0.58	0.62	0.66	0.85

0 10 20 m

COMPARACIÓ 0,10 m i 0,25 m



■ Unequal
■ Equal

0 10 20 m

DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,10 m

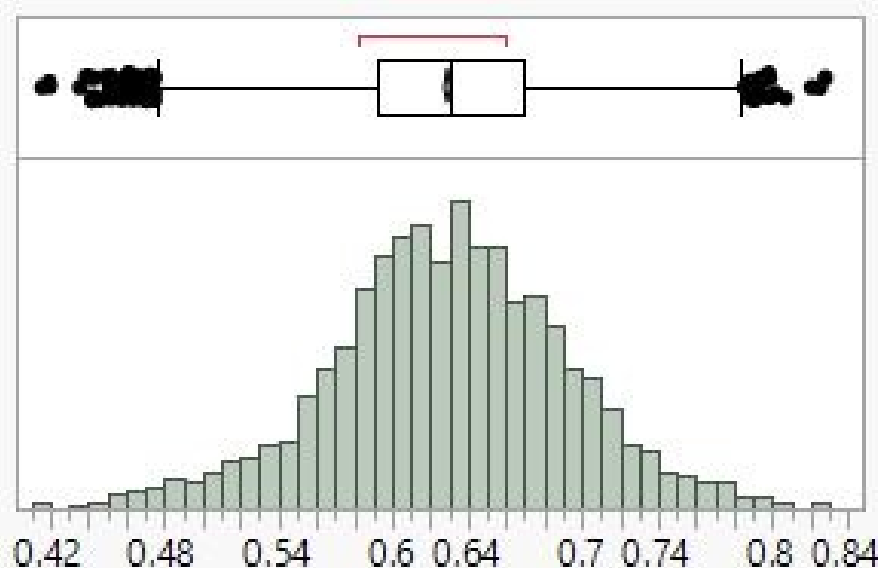
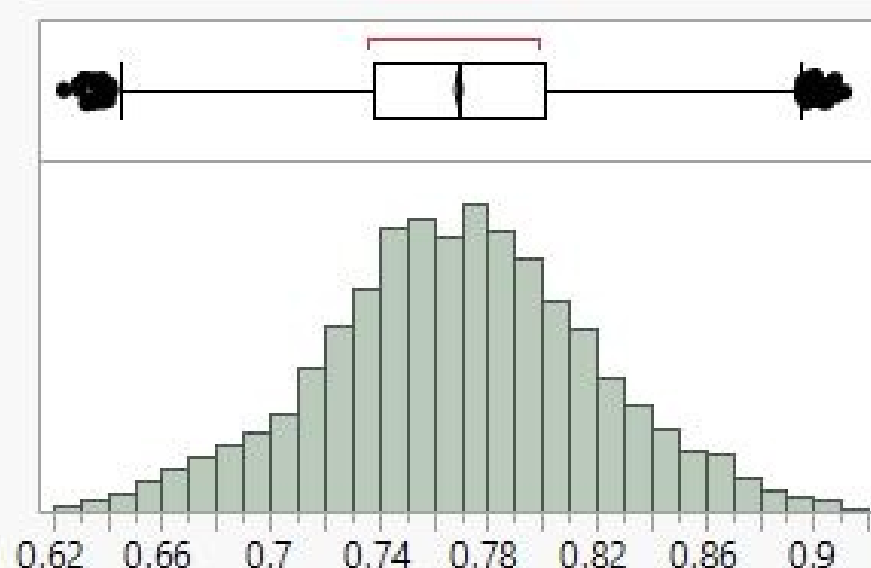


DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,25 m



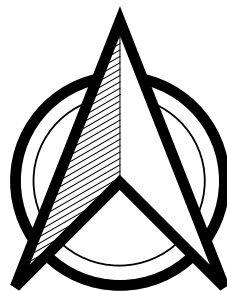
AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
15 de 41

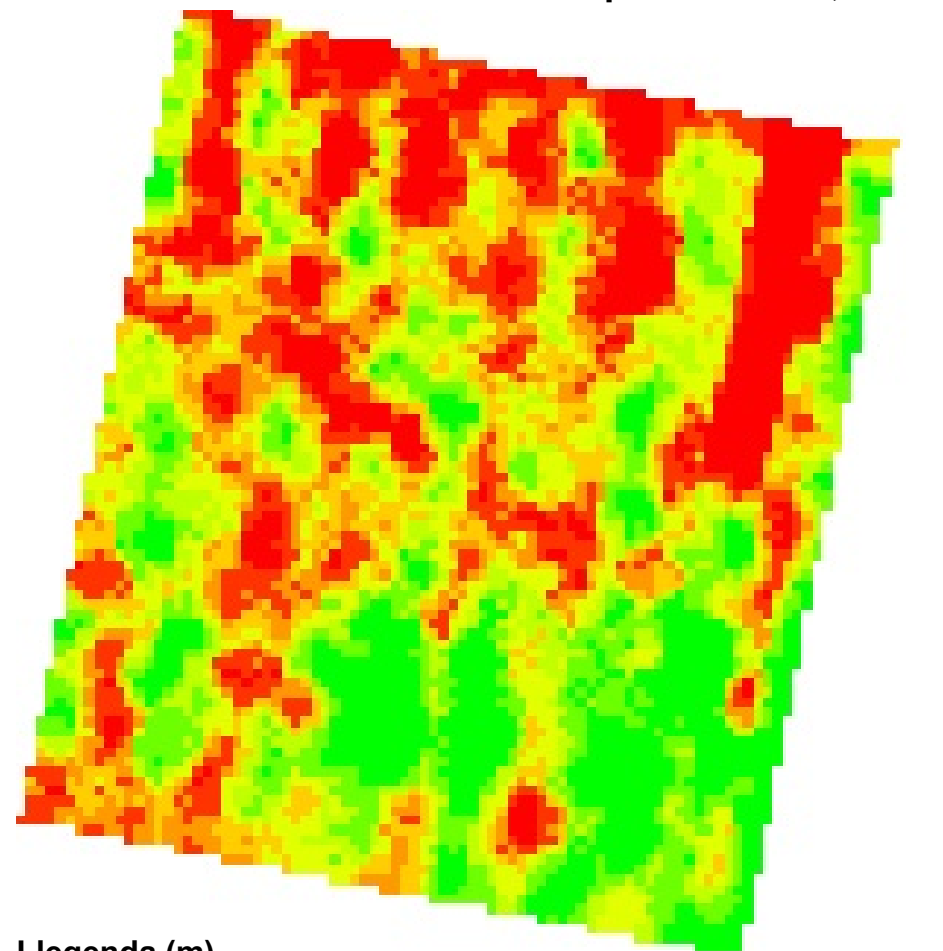
GEOREFENCICIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una
plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental
de fertirrigació.

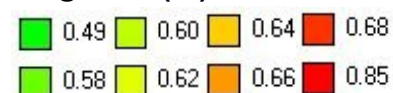
DATA:
Lleida, juny 2020



Amplada. Res. 0,10 m

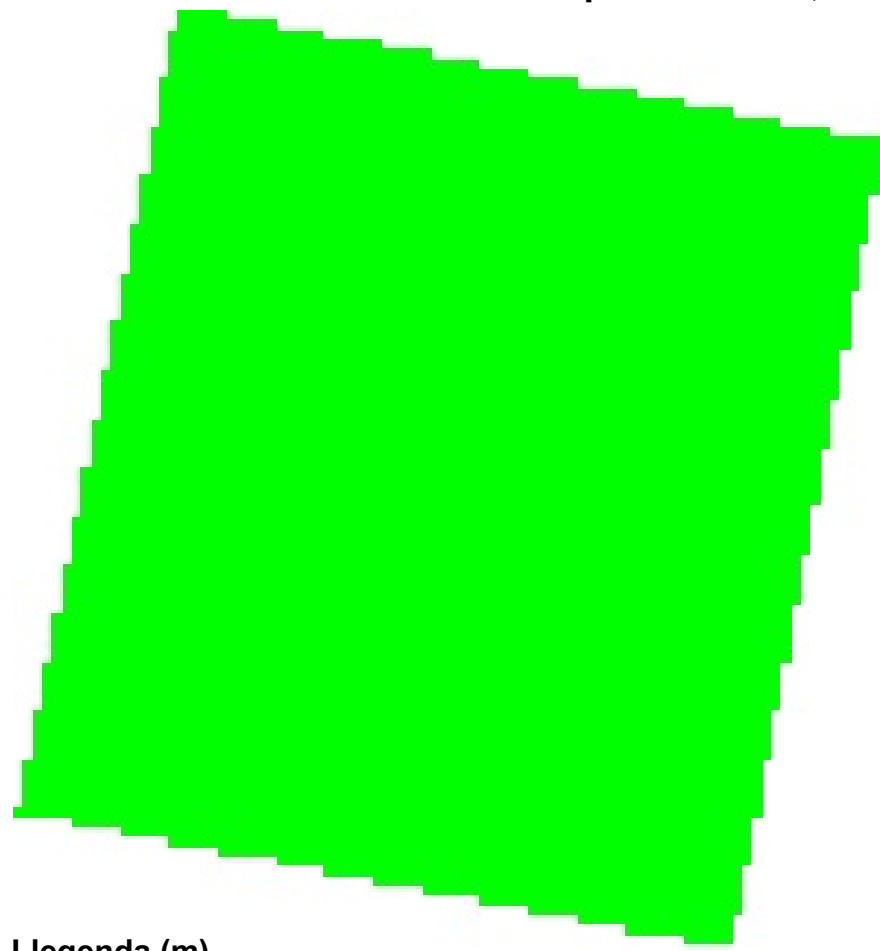


Llegenda (m)

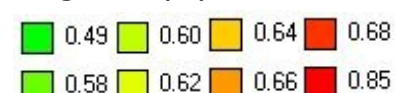


0 10 20 m

Amplada. Res. 0,50 m

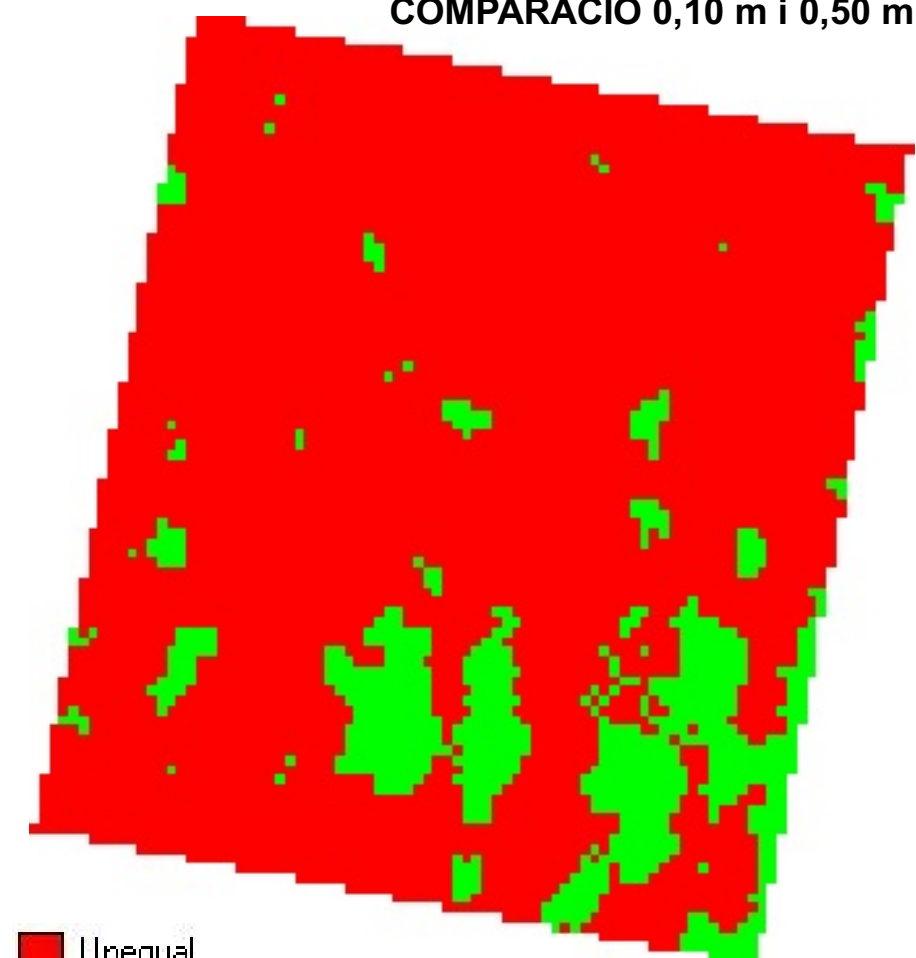


Llegenda (m)



0 10 20 m

COMPARACIÓ 0,10 m i 0,50 m



Unequal

Equal

0 10 20 m

DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,10 m

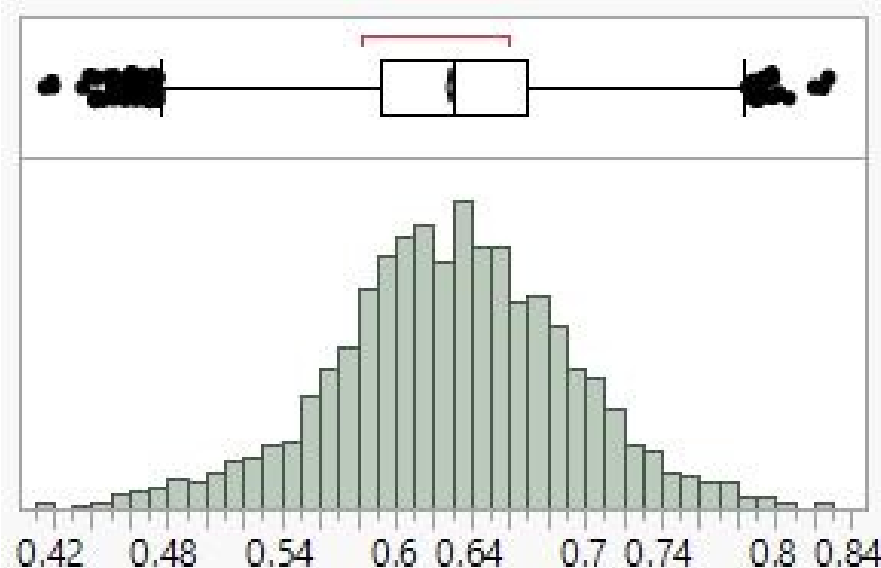
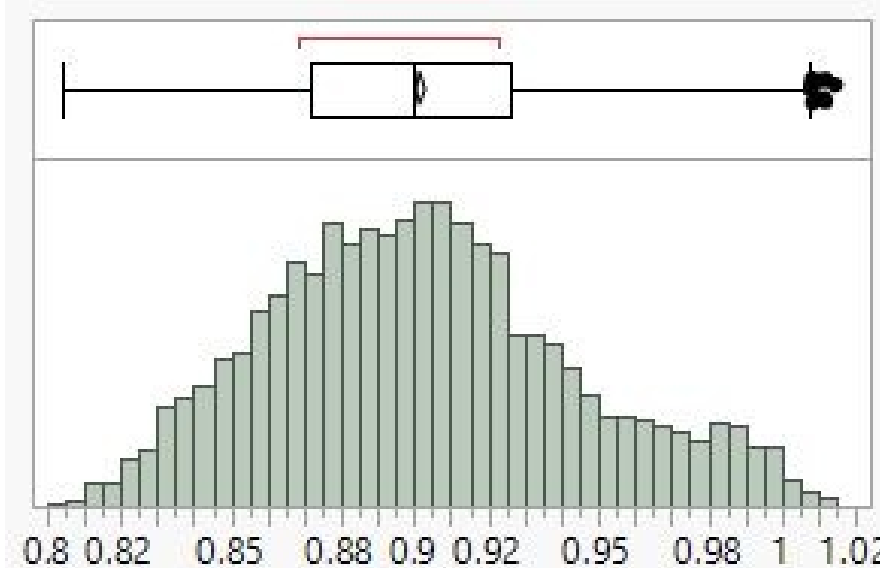


DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,50 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
16 de 41

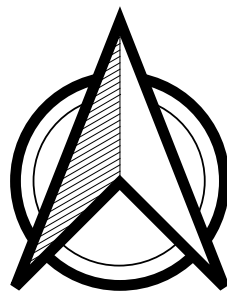
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

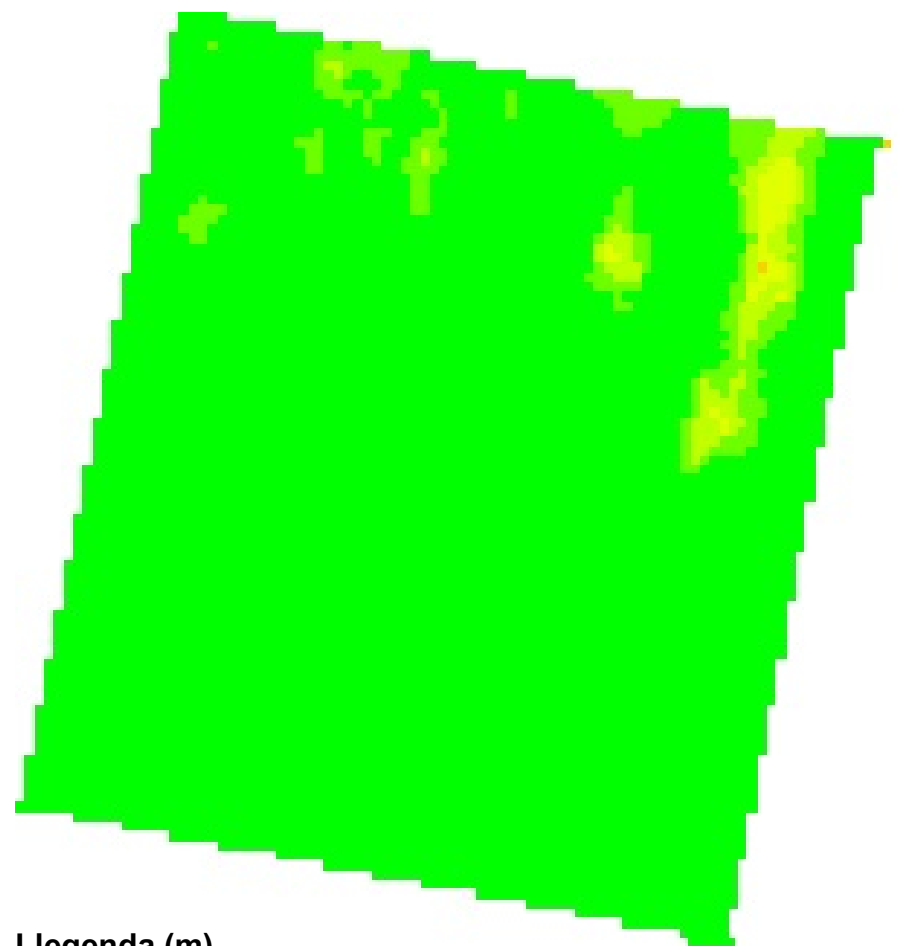
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

Lleida, juny 2020



Amplada. Res. 0,25 m



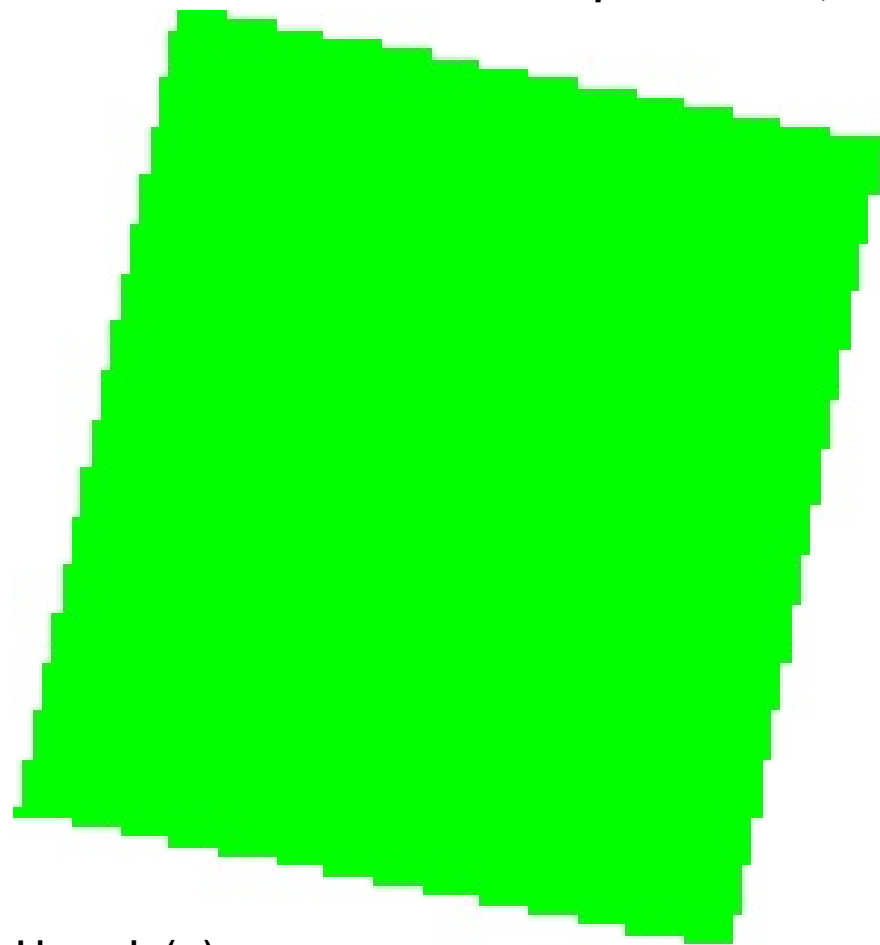
Llegenda (m)



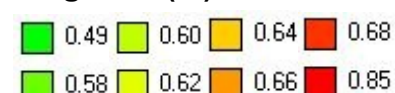
0 10 20 m



Amplada. Res. 0,50 m



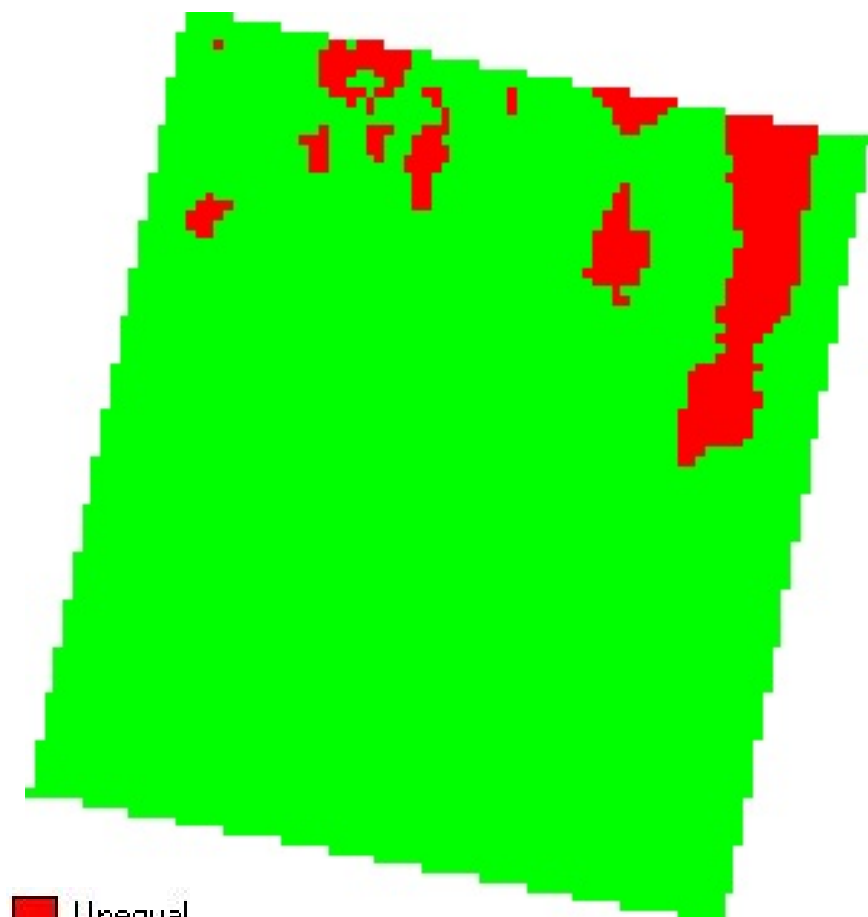
Llegenda (m)



0 10 20 m



COMPARACIÓ 0,25 m i 0,50 m



Unequal

Equal

0 10 20 m



DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,25 m

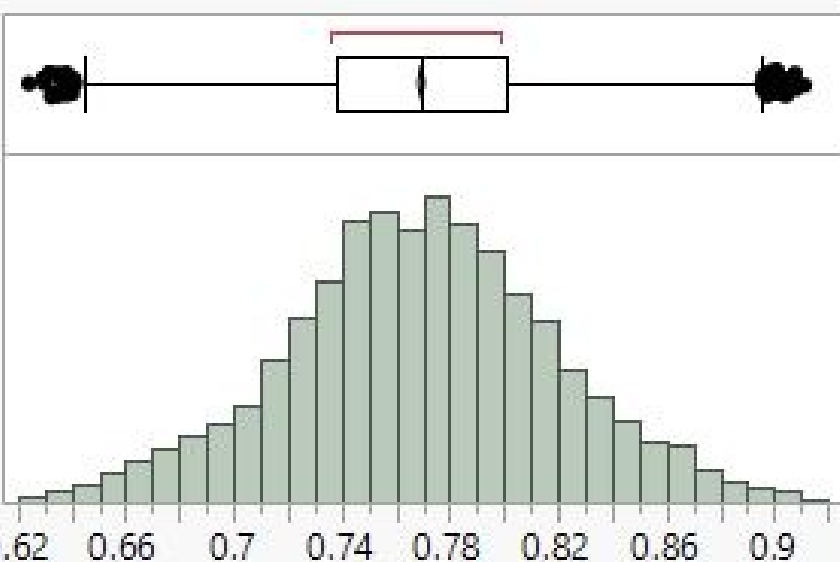
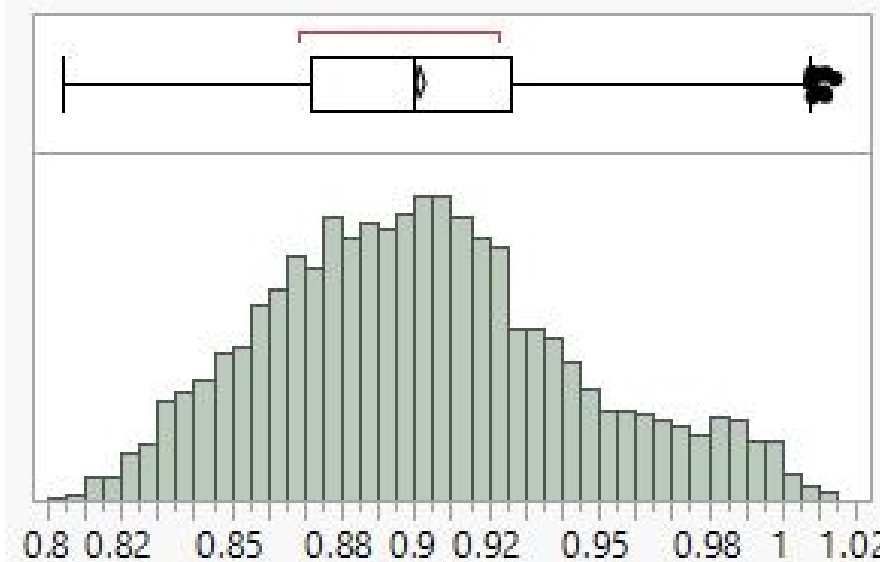


DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,50 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
17 de 41

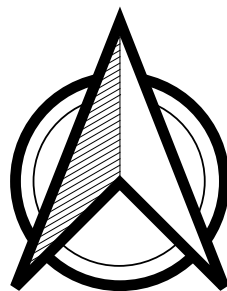
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

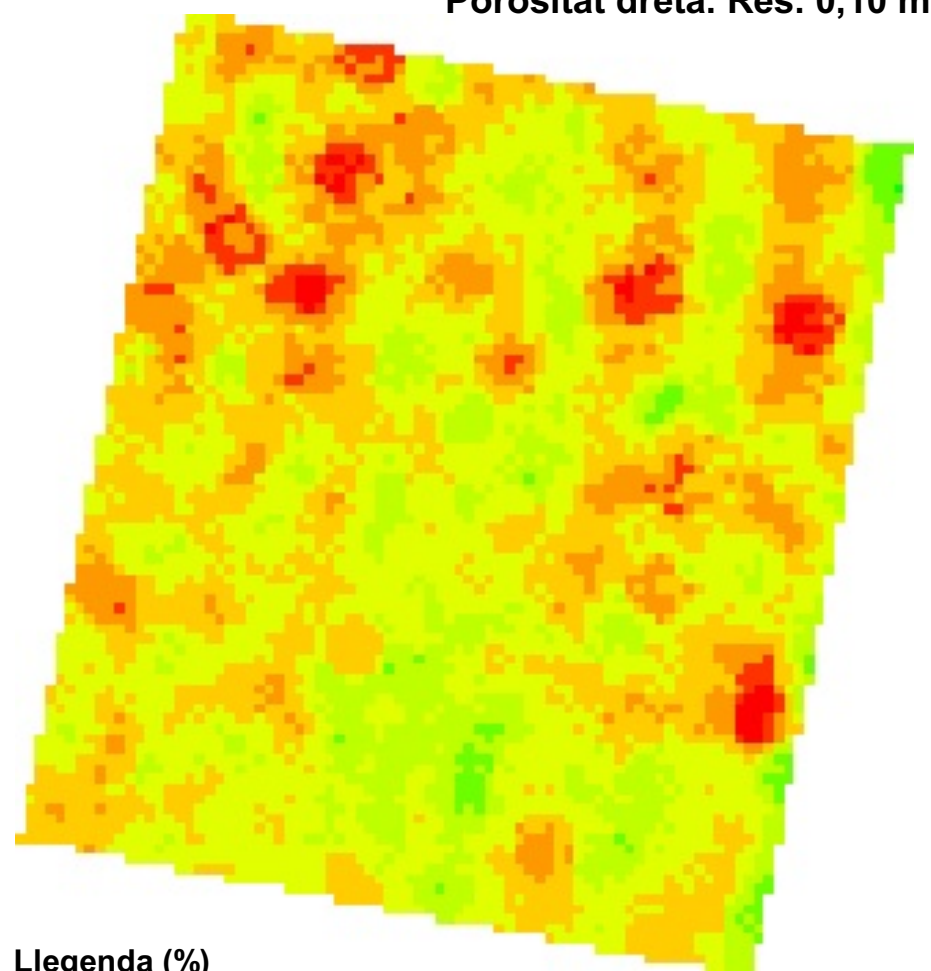
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

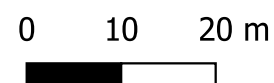
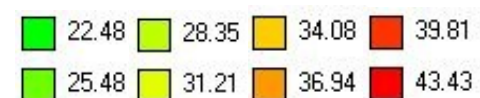
Lleida, juny 2020



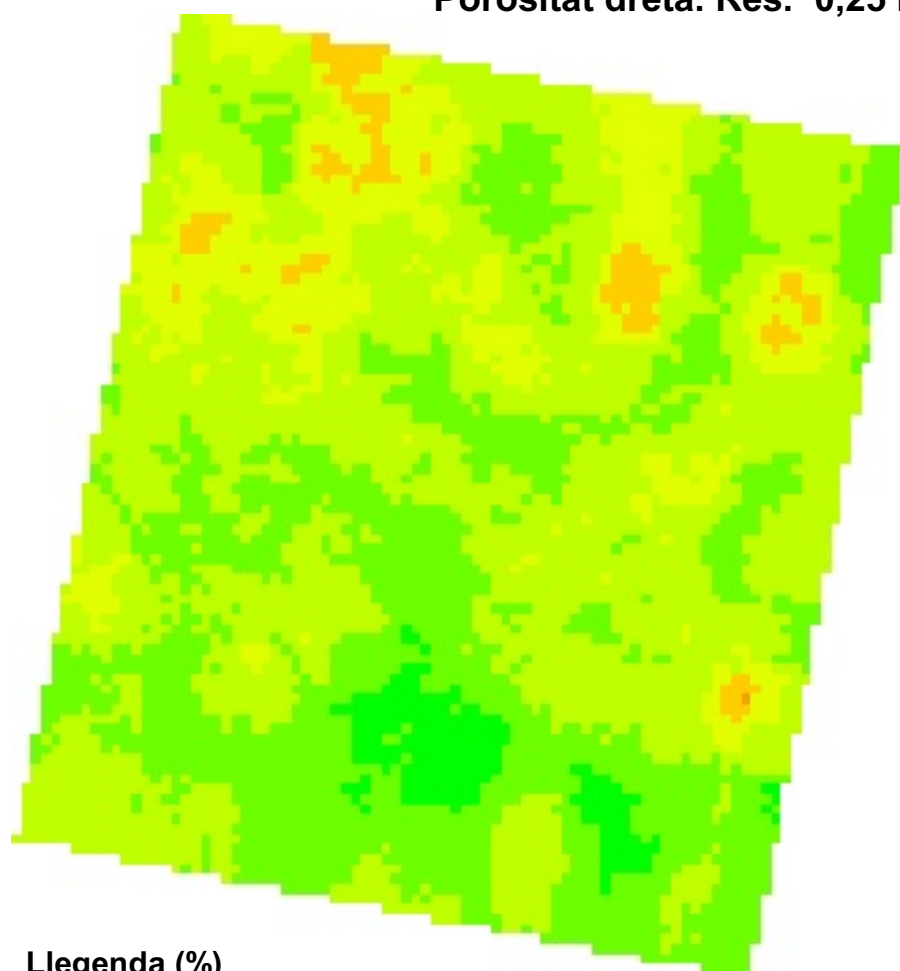
Porositat dreta. Res. 0,10 m



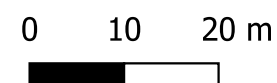
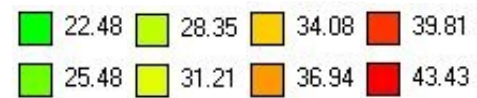
Llegenda (%)



Porositat dreta. Res. 0,25 m



Llegenda (%)



COMPARACIÓ 0,10 m i 0,25 m

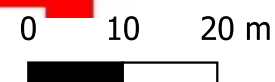
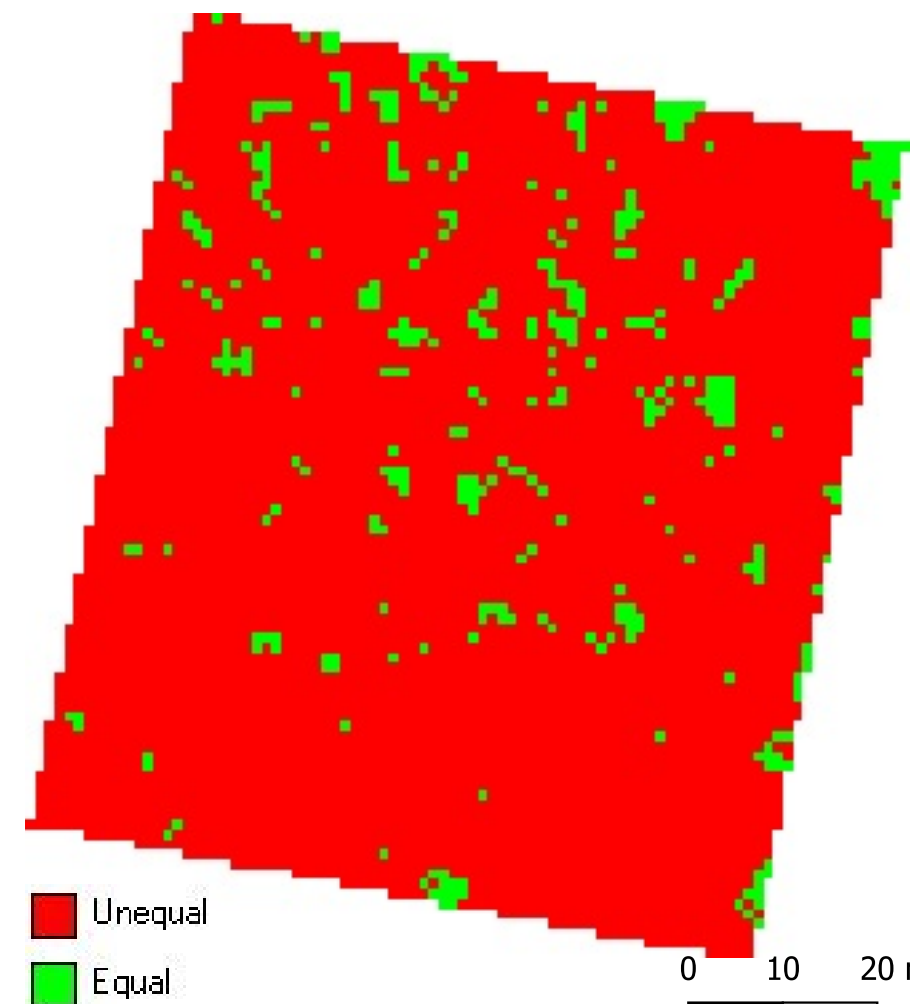


DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,10 m

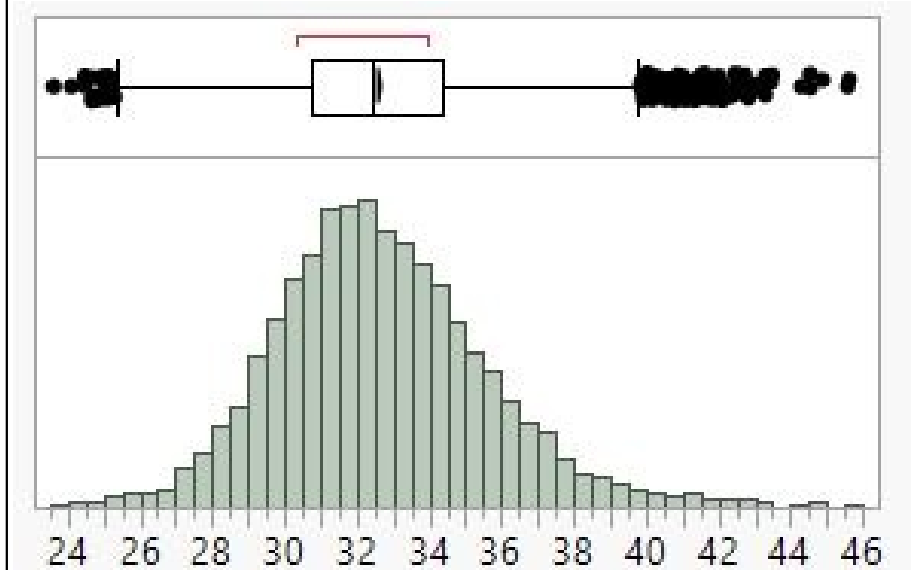
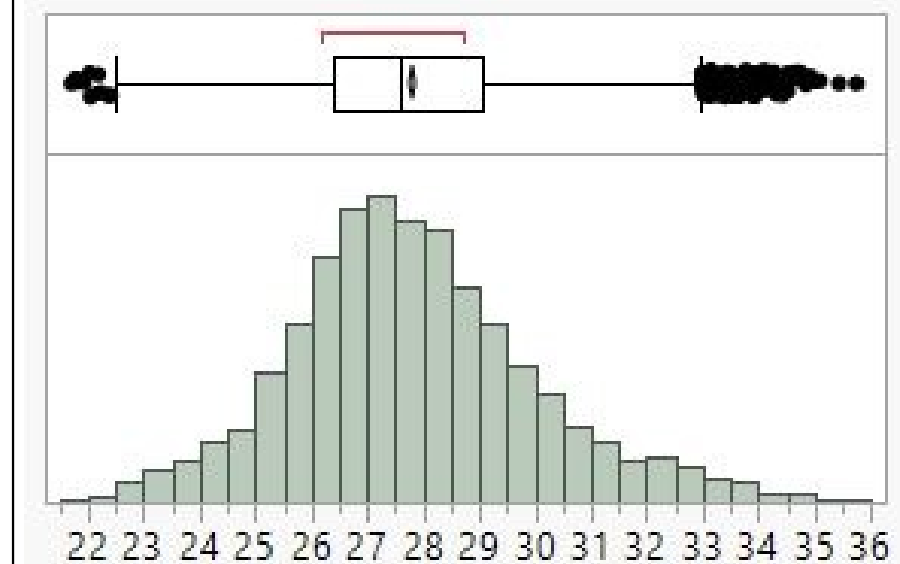


DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,25 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
18 de 41

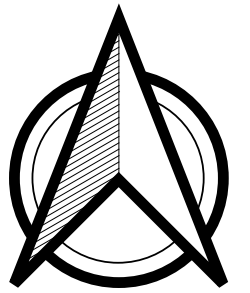
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

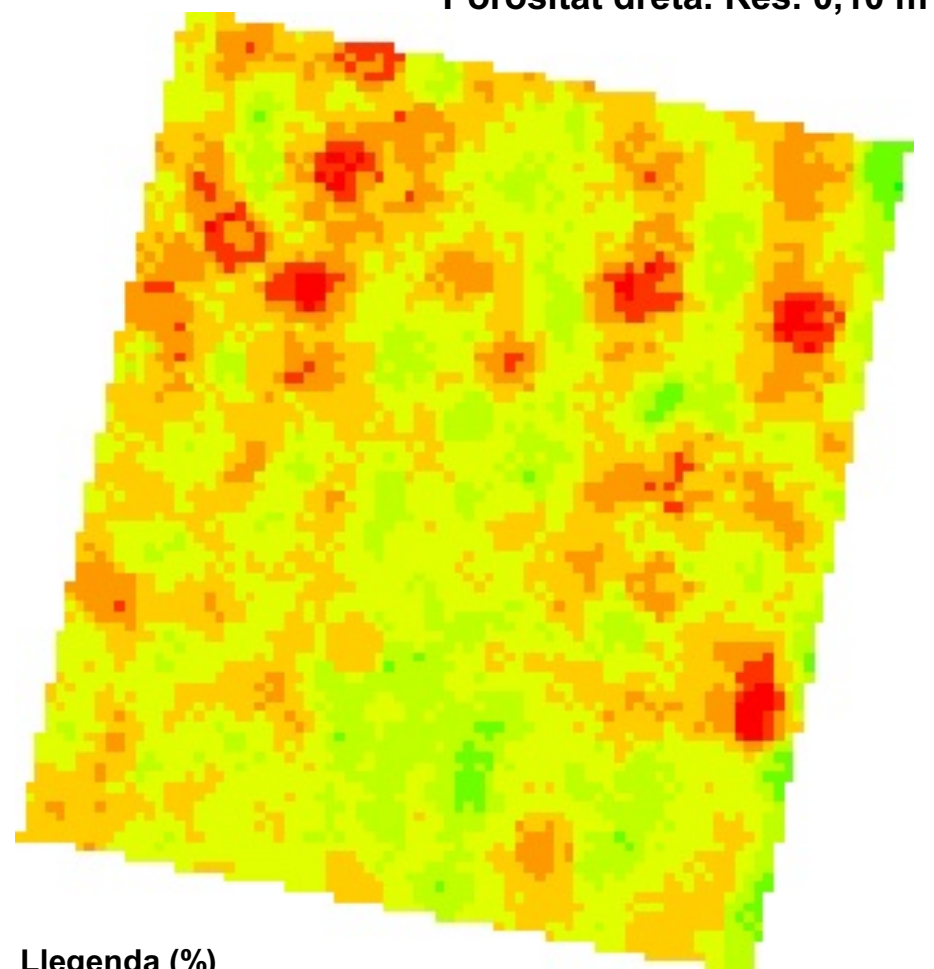
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

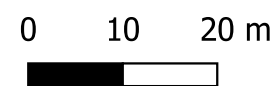
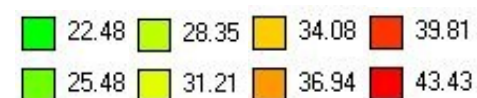
Lleida, juny 2020



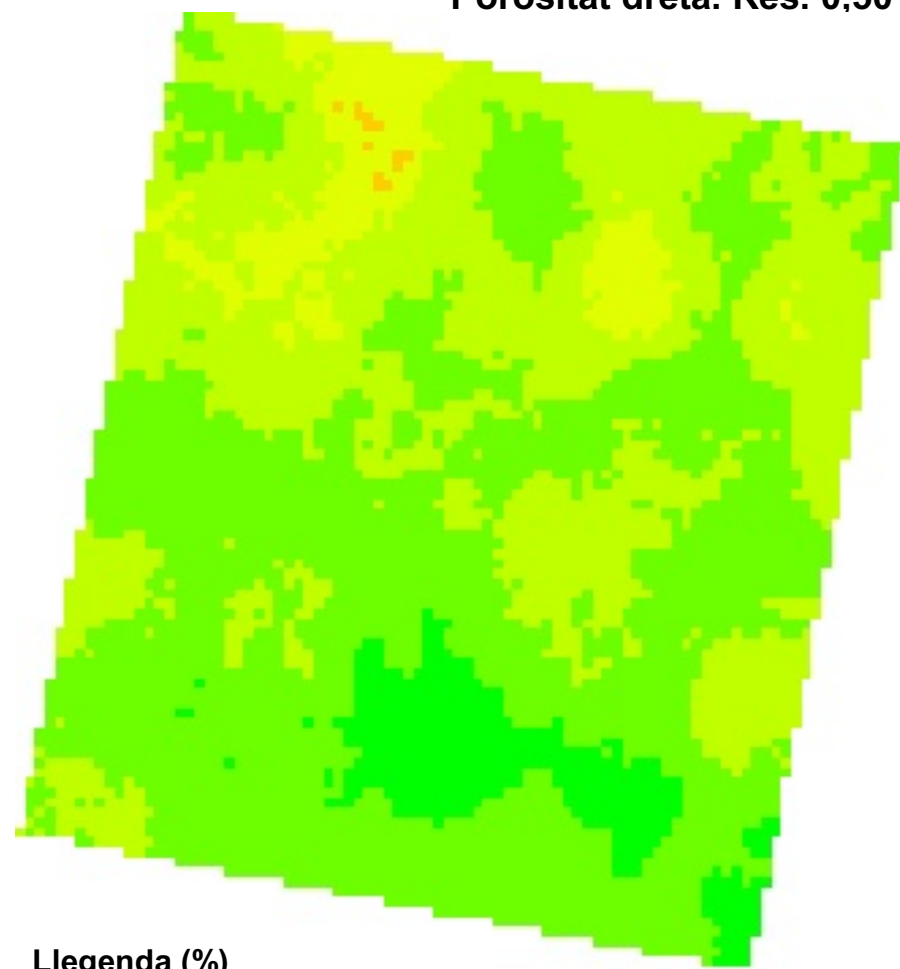
Porositat dreta. Res. 0,10 m



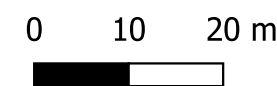
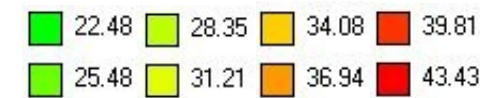
Llegenda (%)



Porositat dreta. Res. 0,50 m



Llegenda (%)



COMPARACIÓ 0,10 m i 0,50 m

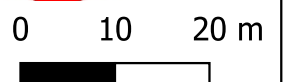
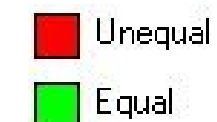
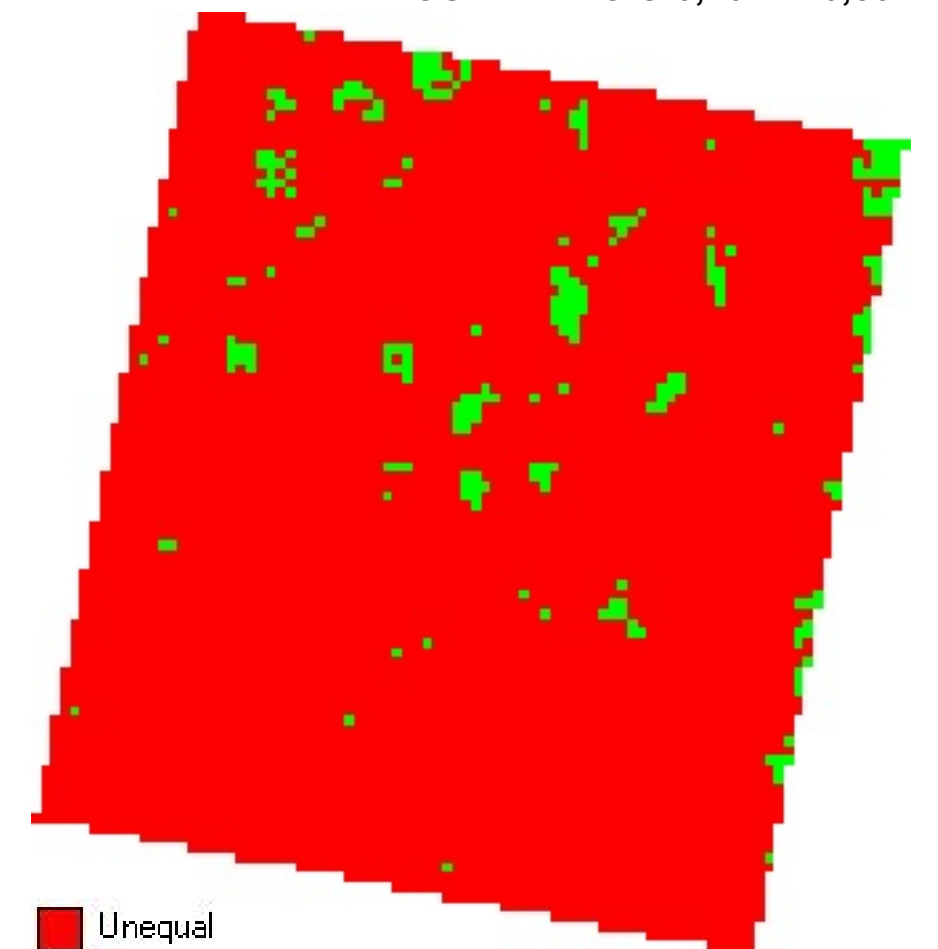


DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,10 m

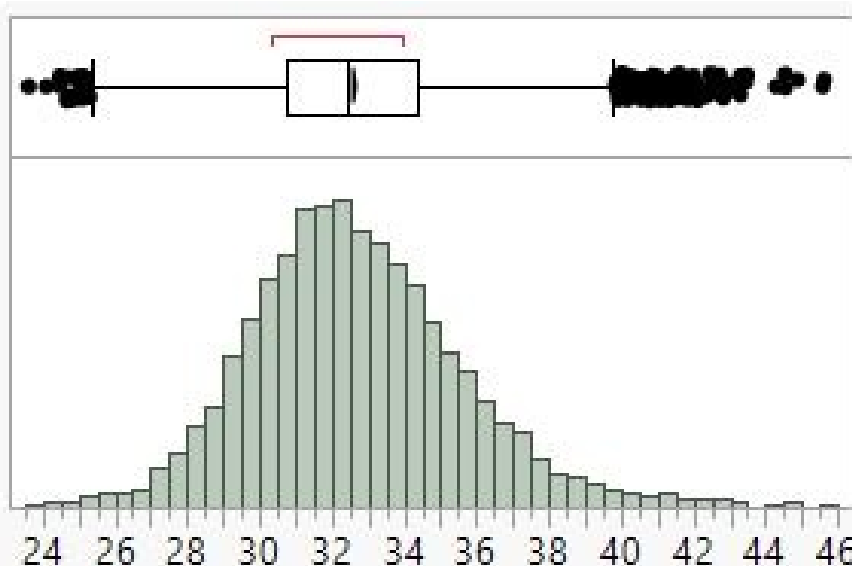
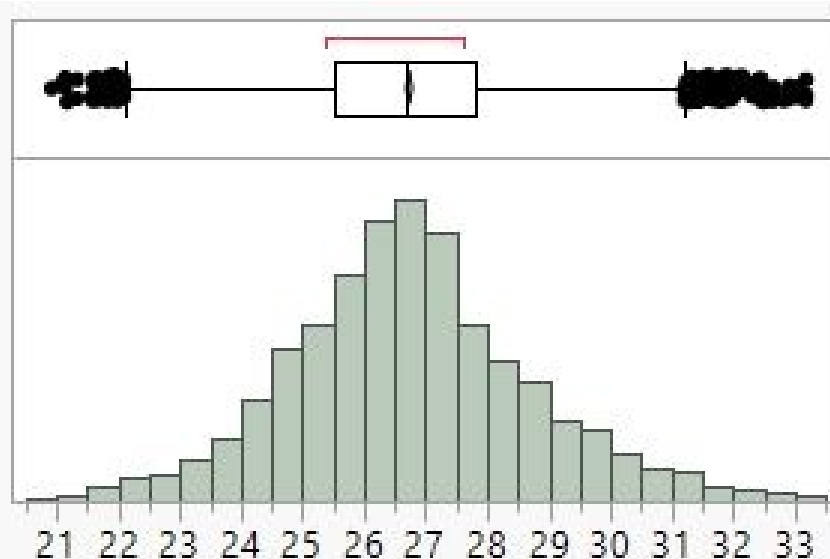


DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,50 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
19 de 41

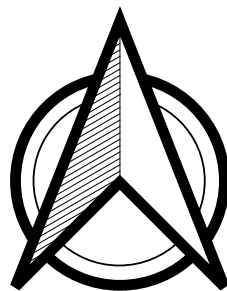
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

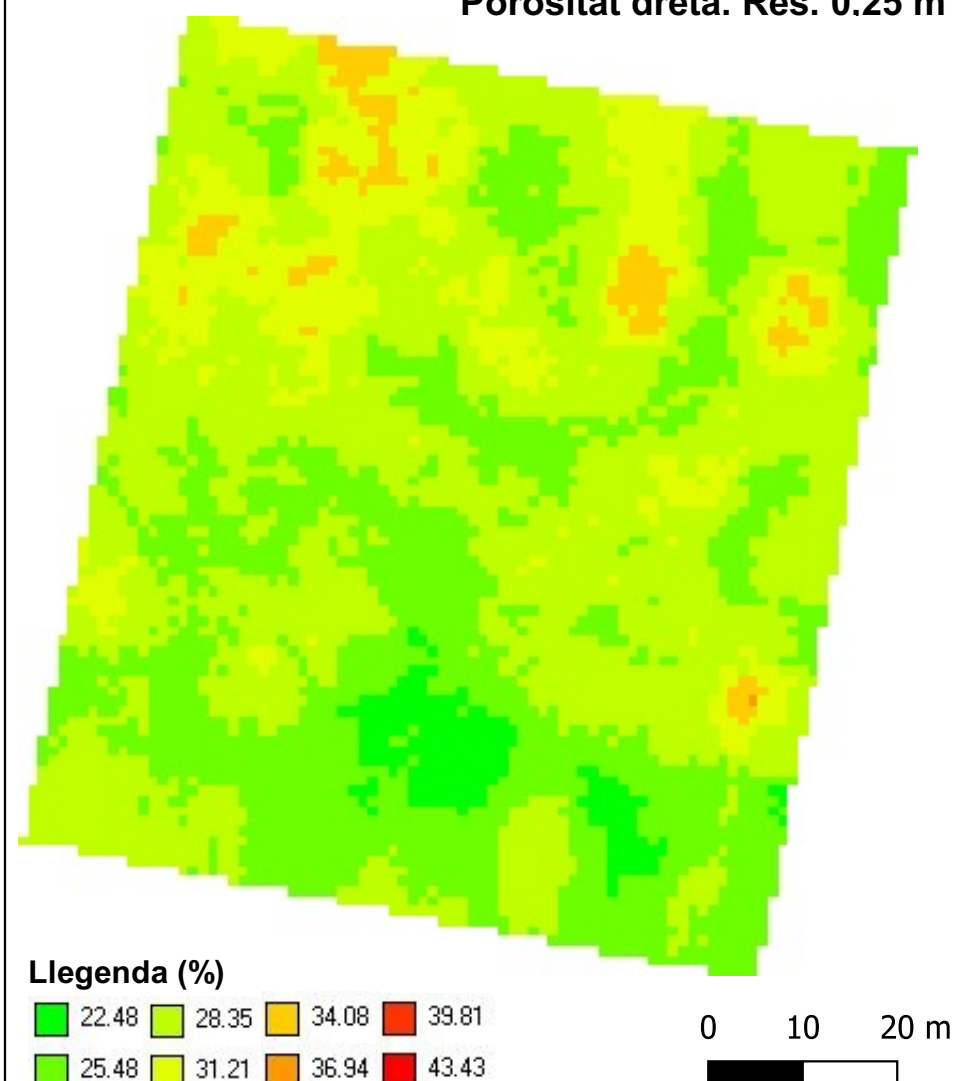
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

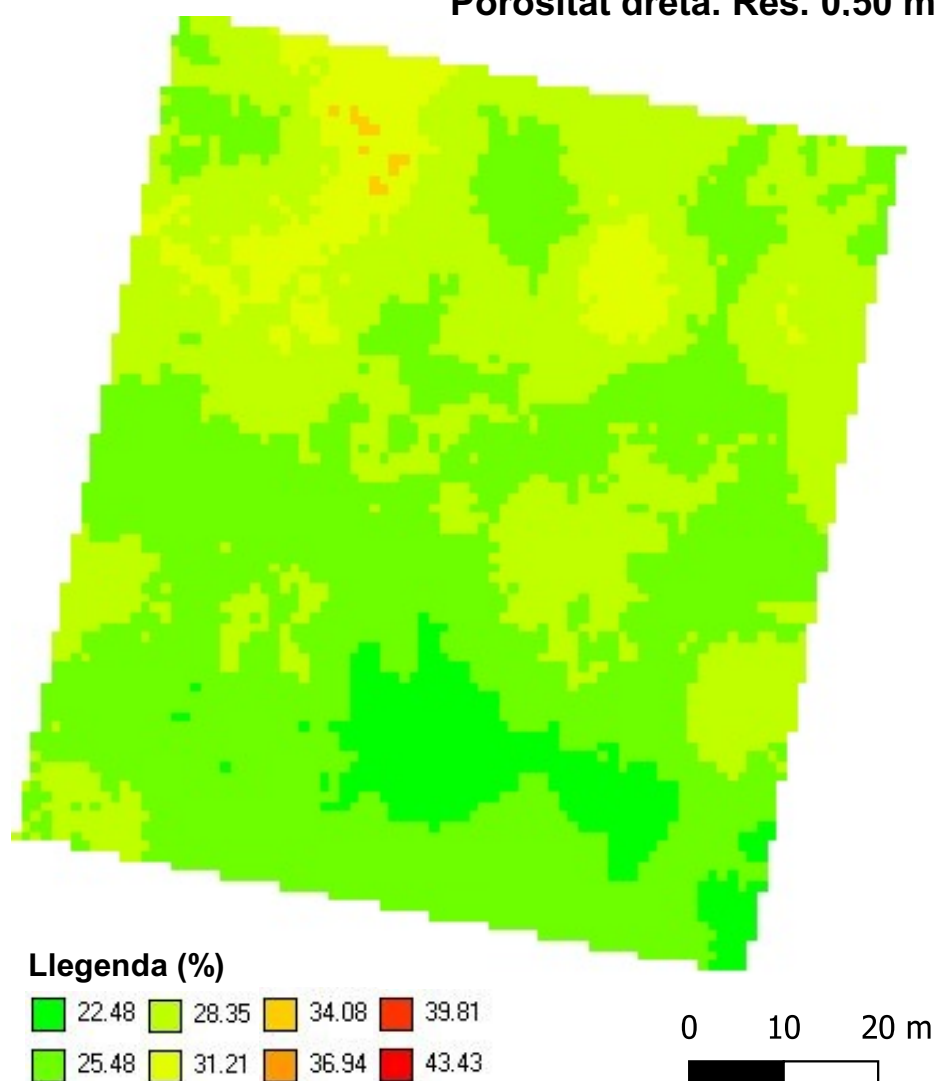
Lleida, juny 2020



Porositat dreta. Res. 0.25 m



Porositat dreta. Res. 0.50 m



COMPARACIÓ 0,25 m i 0,50 m

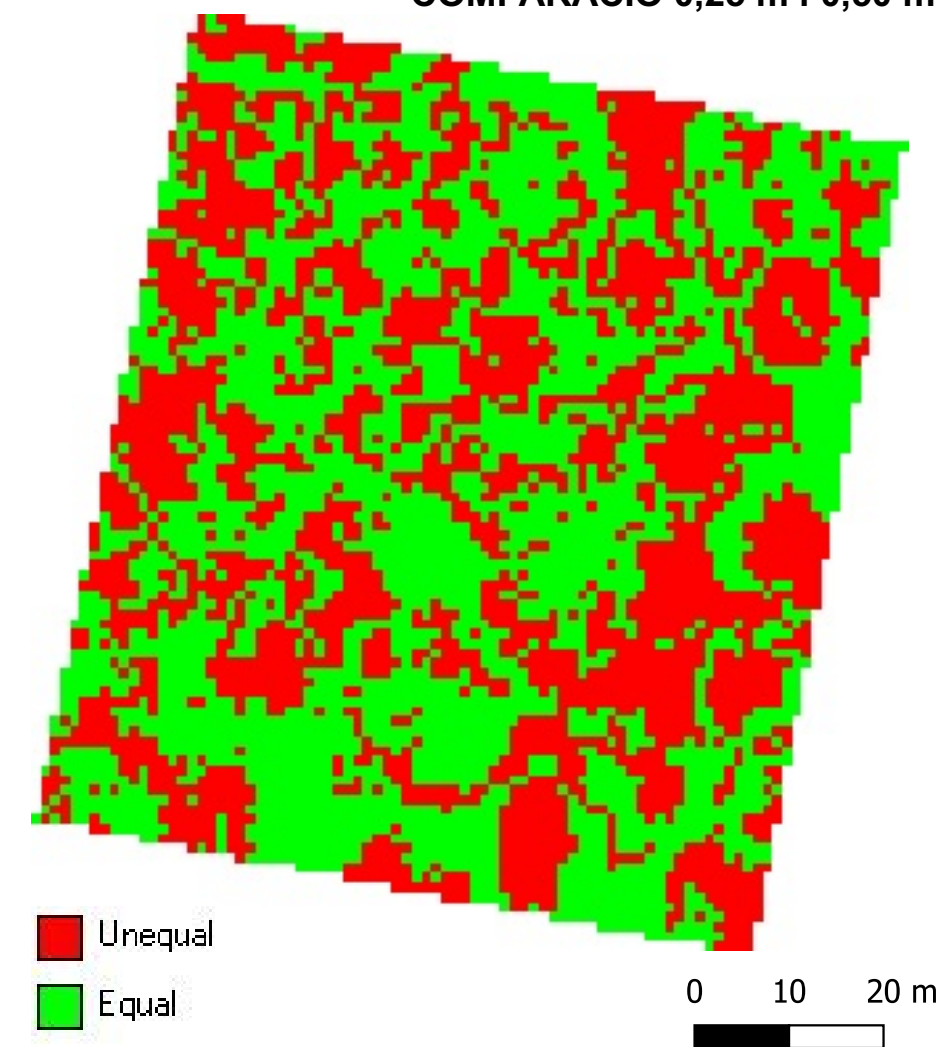


DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,25 m

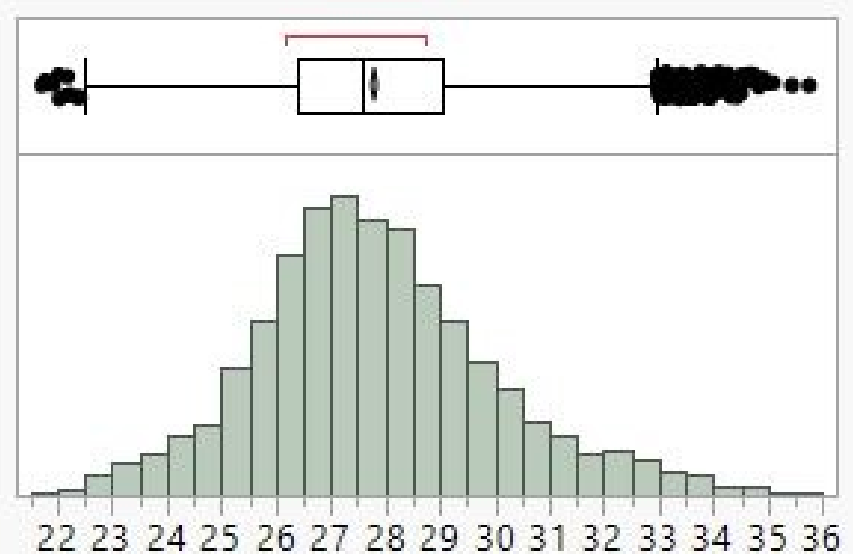
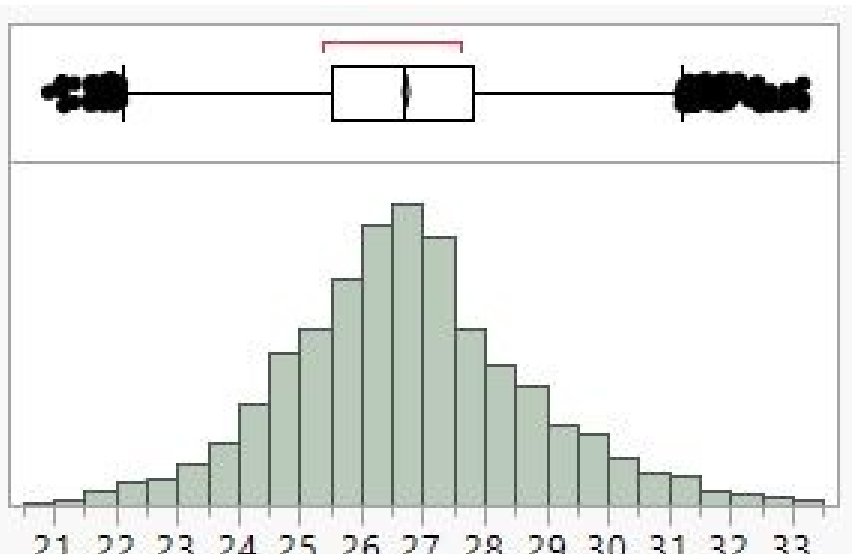


DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,50 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
20 de 41

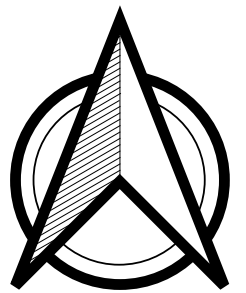
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

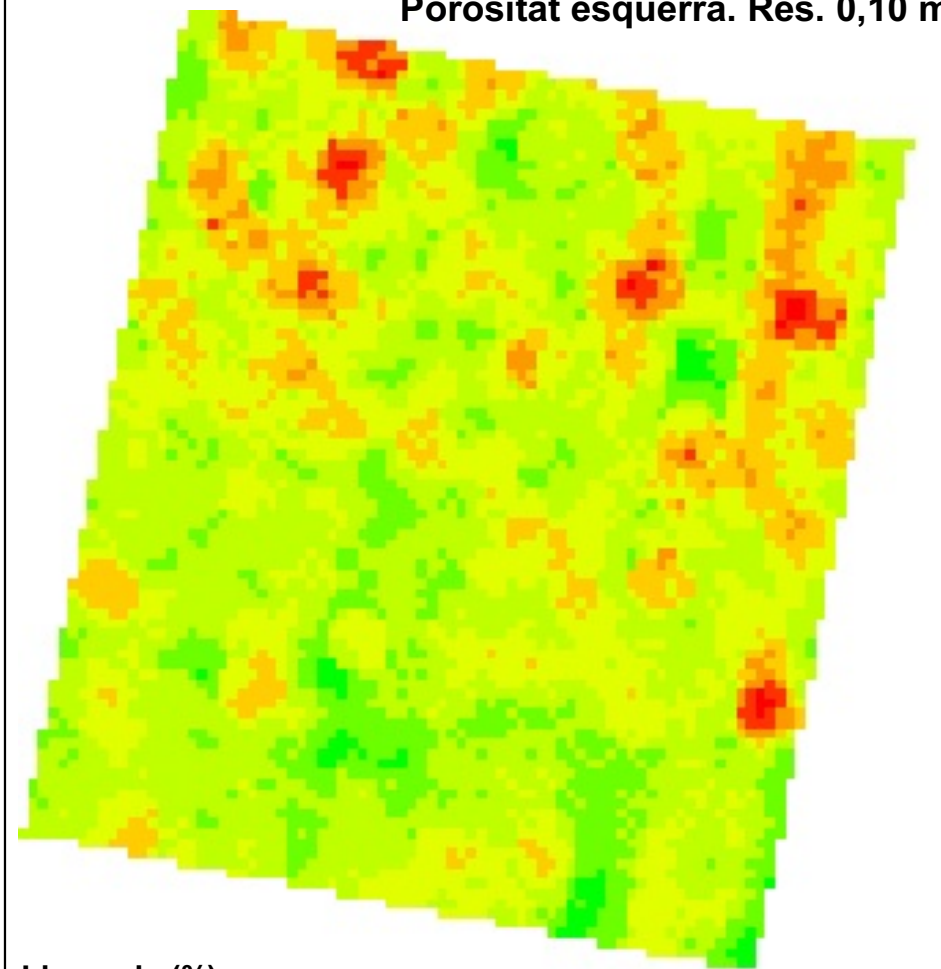
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

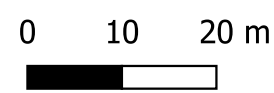
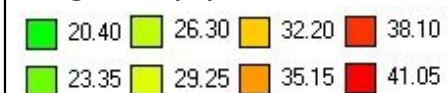
Lleida, juny 2020



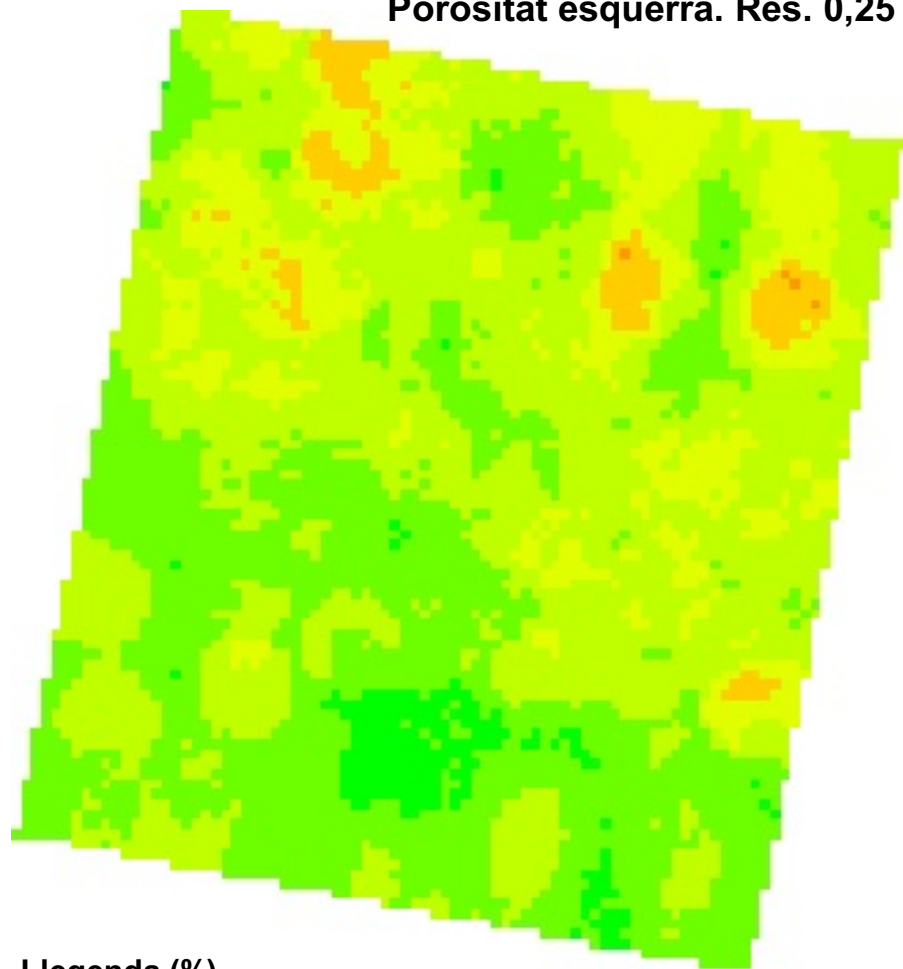
Porositat esquerra. Res. 0,10 m



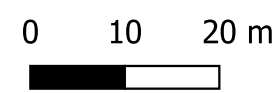
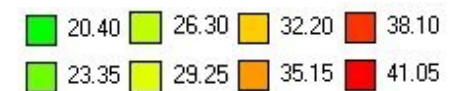
Llegenda (%)



Porositat esquerra. Res. 0,25 m



Llegenda (%)



COMPARACIÓ 0,10 m i 0,25 m

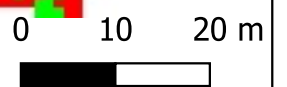
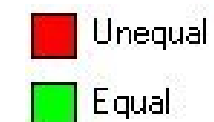
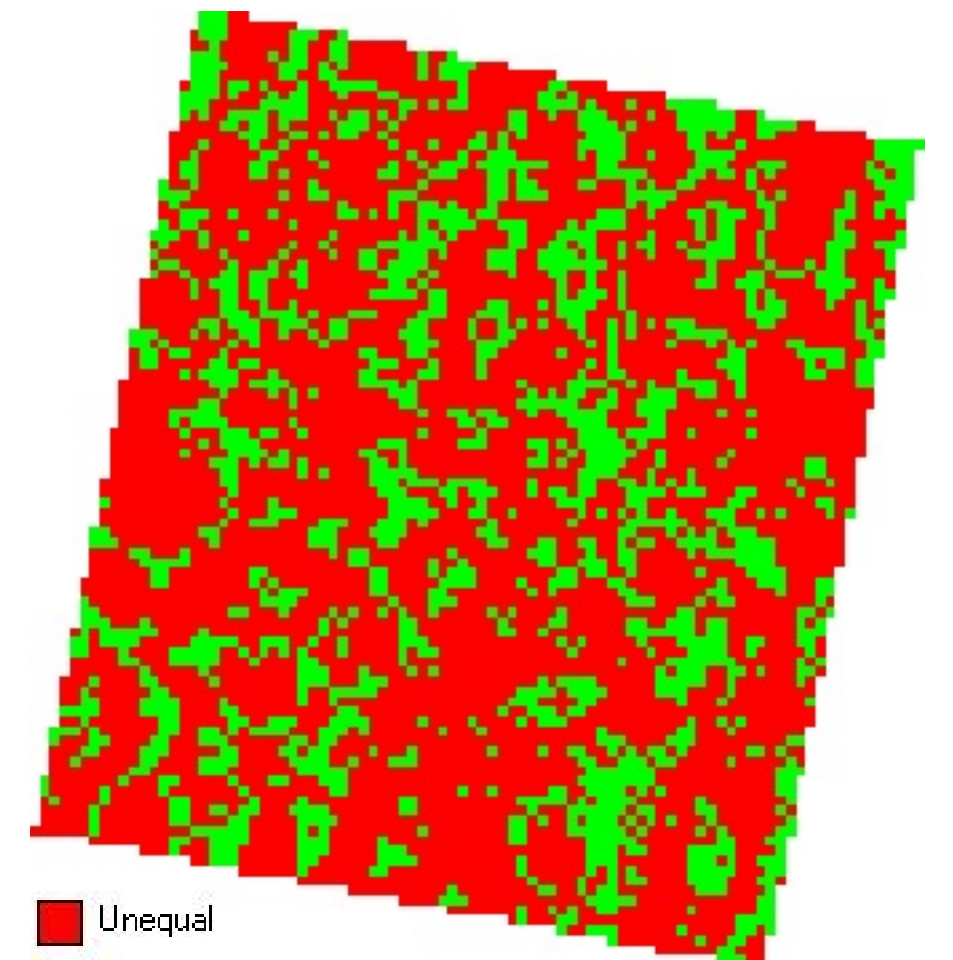


DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,10 m

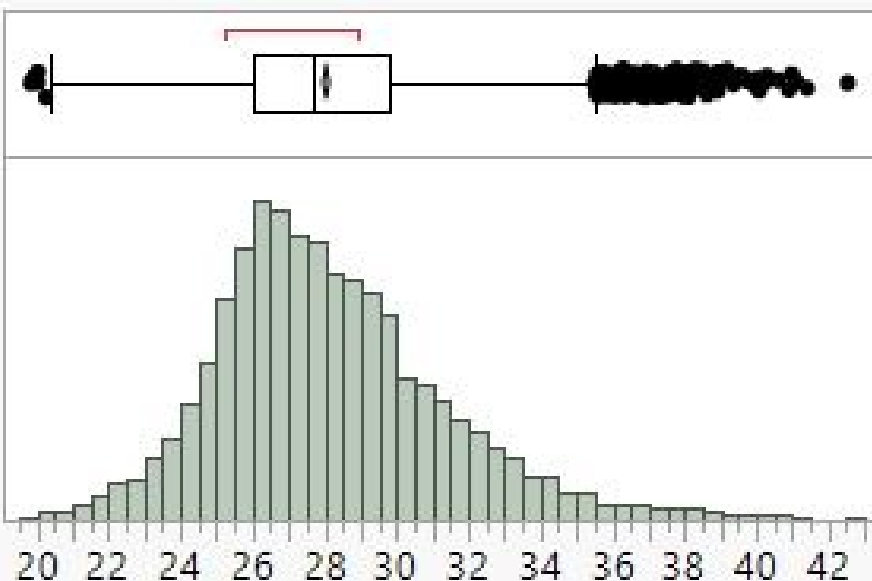
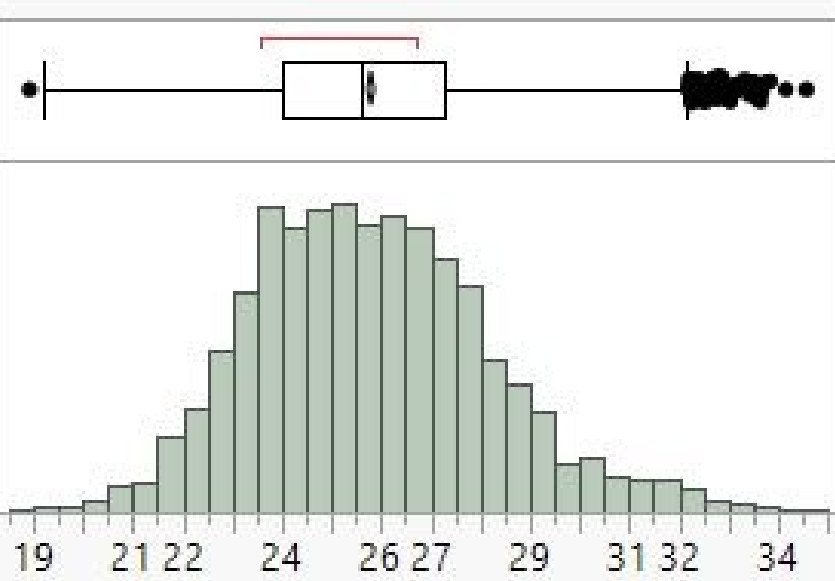


DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,25 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
21 de 41

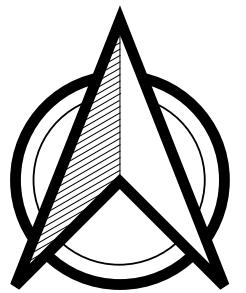
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

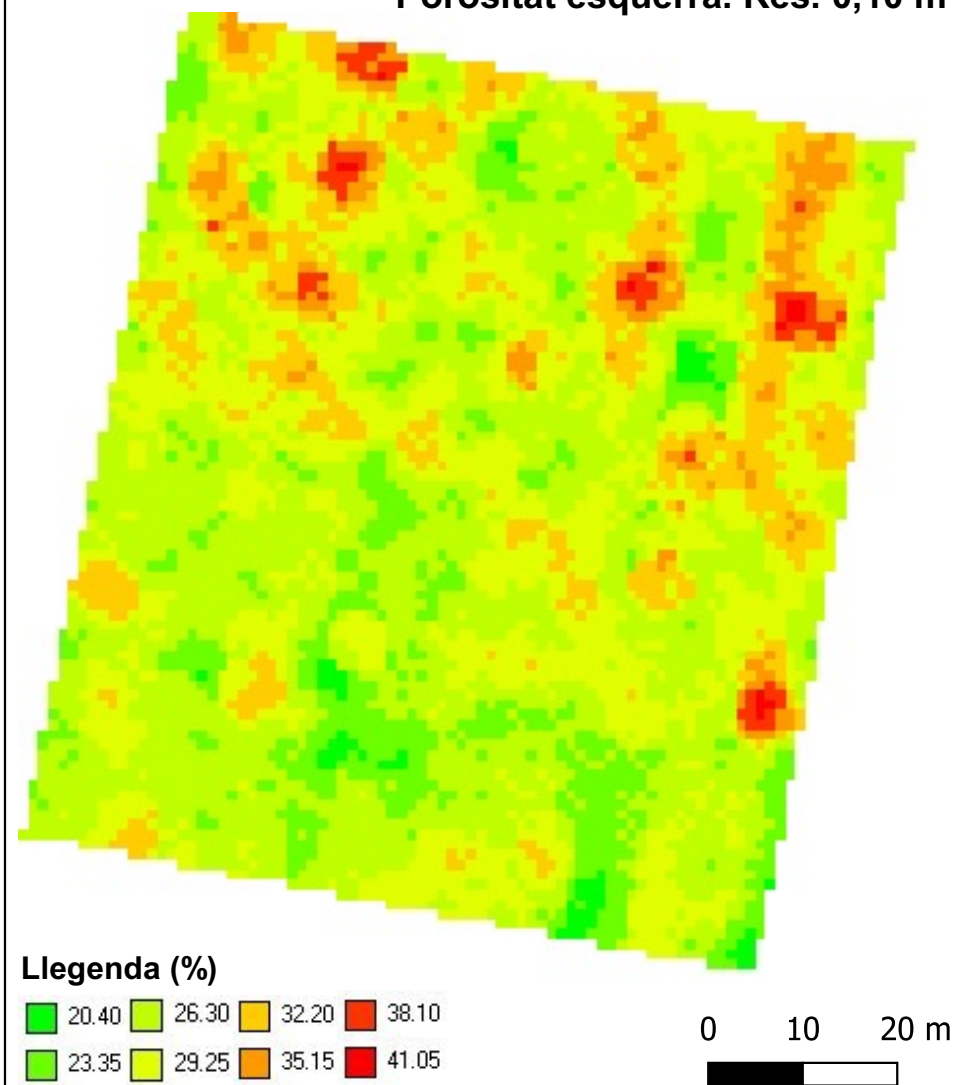
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

Lleida, juny 2020



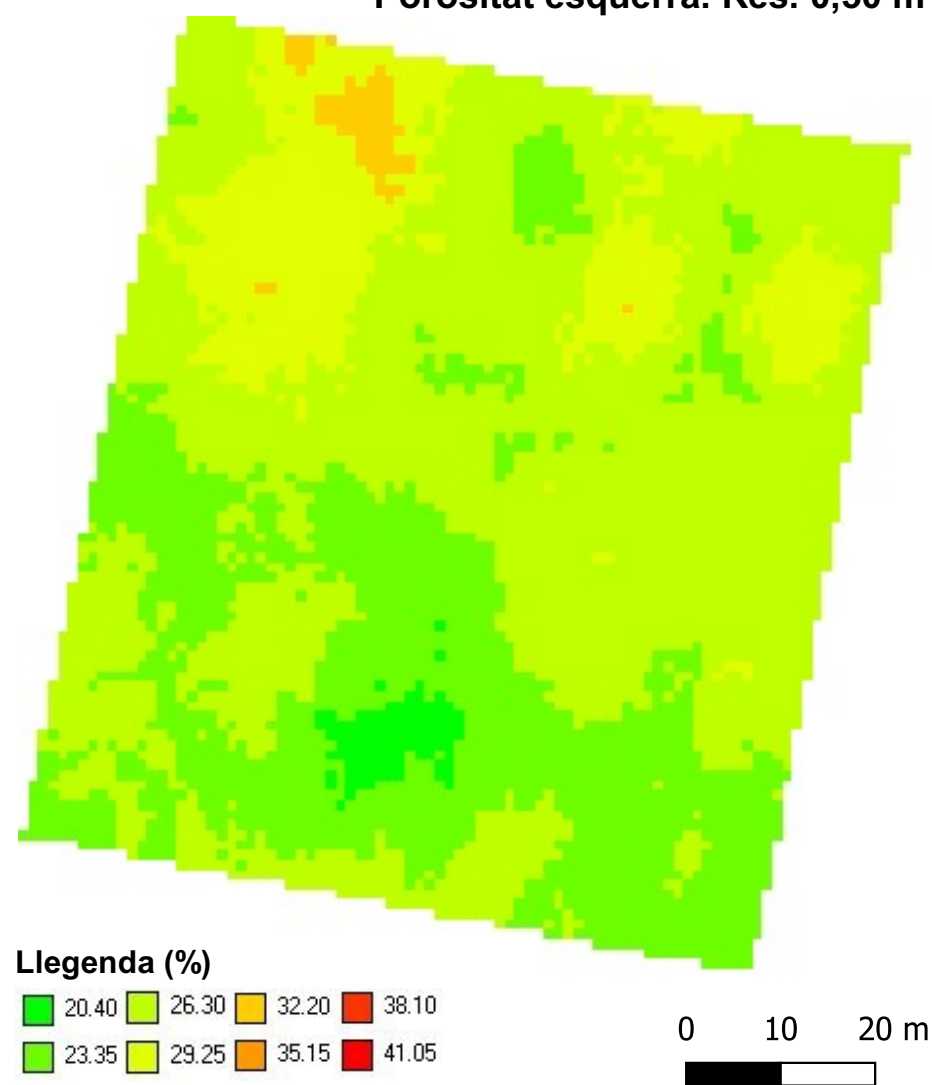
Porositat esquerra. Res. 0,10 m



Llegenda (%)



Porositat esquerra. Res. 0,50 m



Llegenda (%)



COMPARACIÓ 0,10 m i 0,50 m

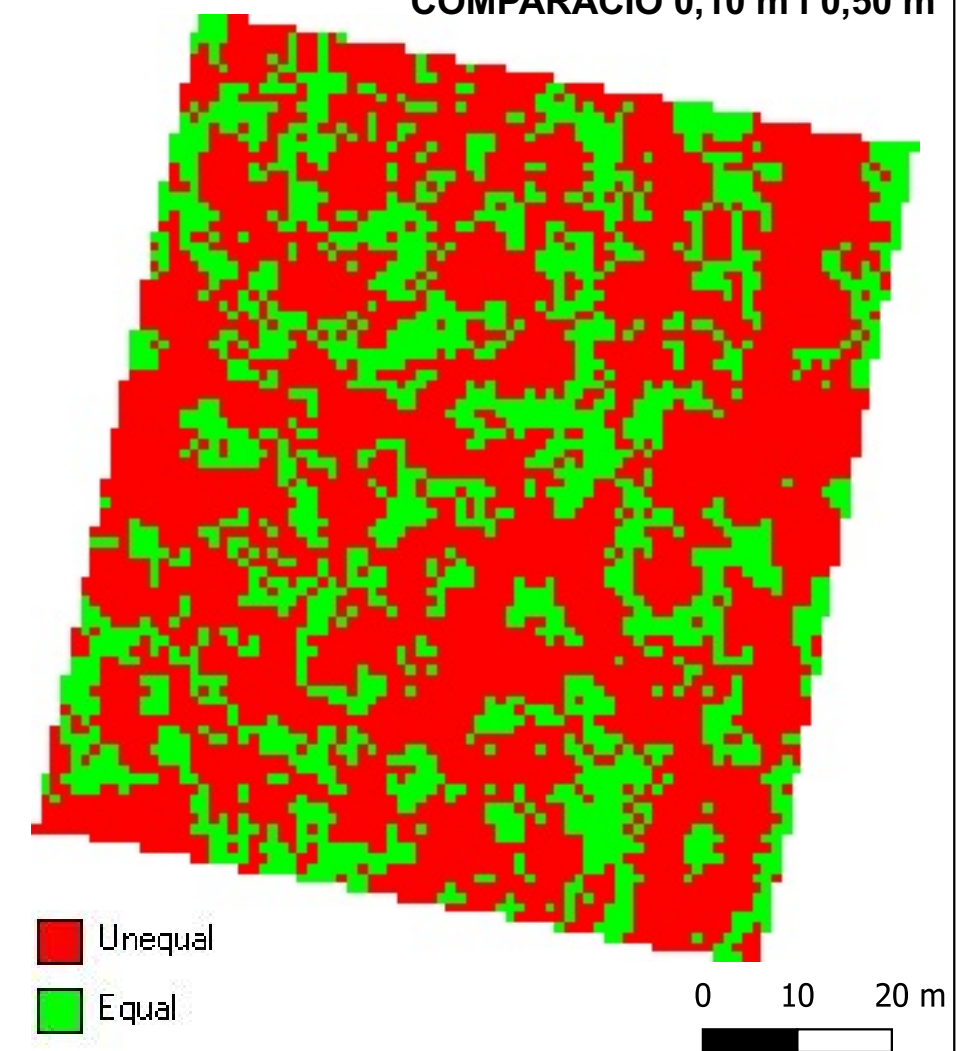


DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,10 m

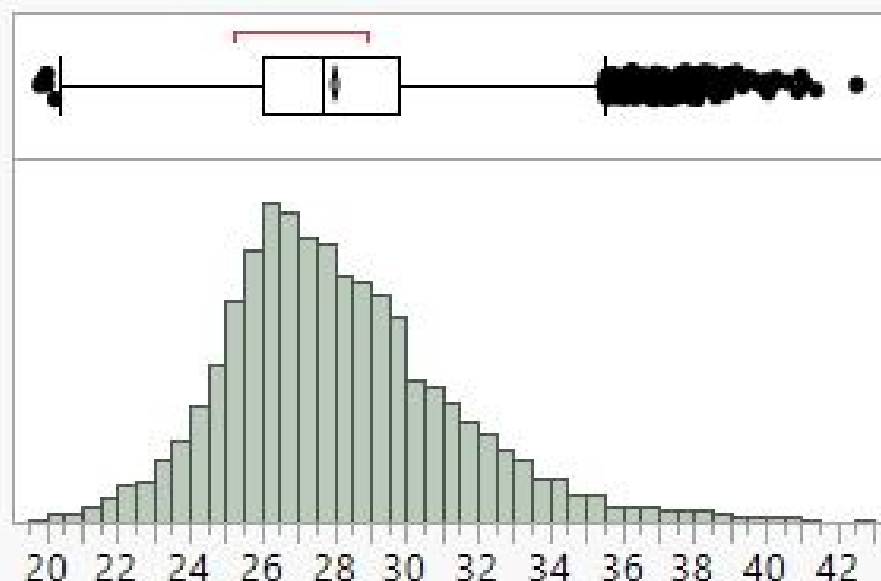
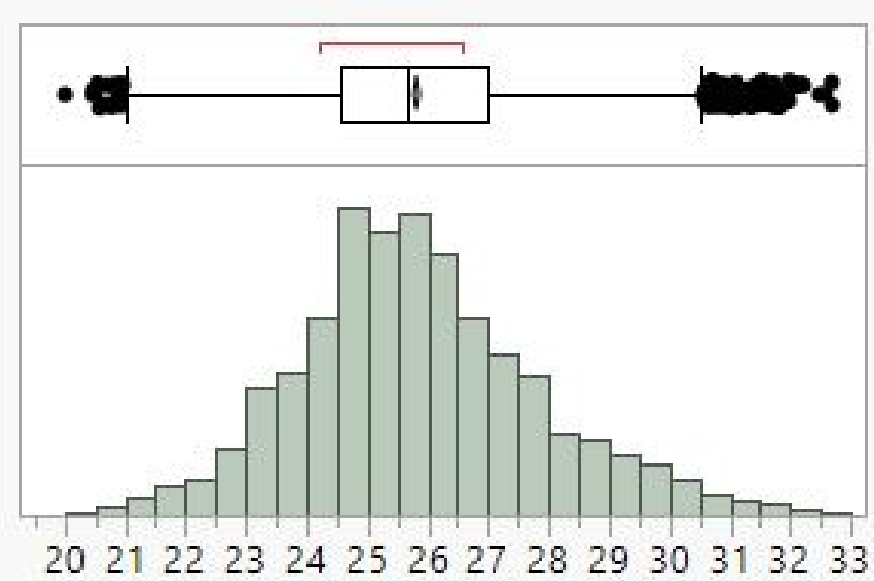


DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,50 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
22 de 41

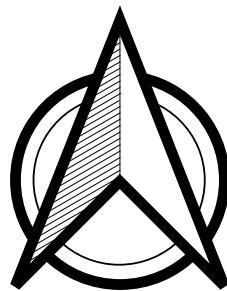
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

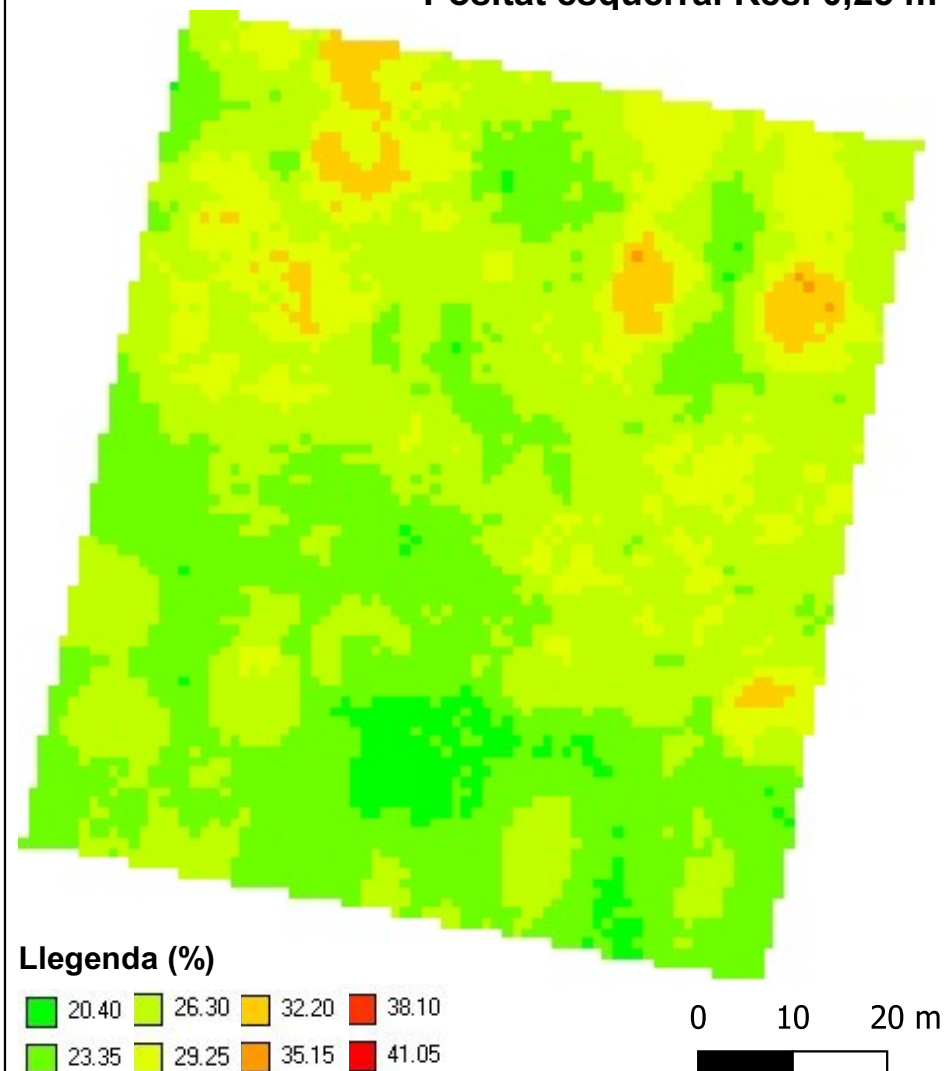
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

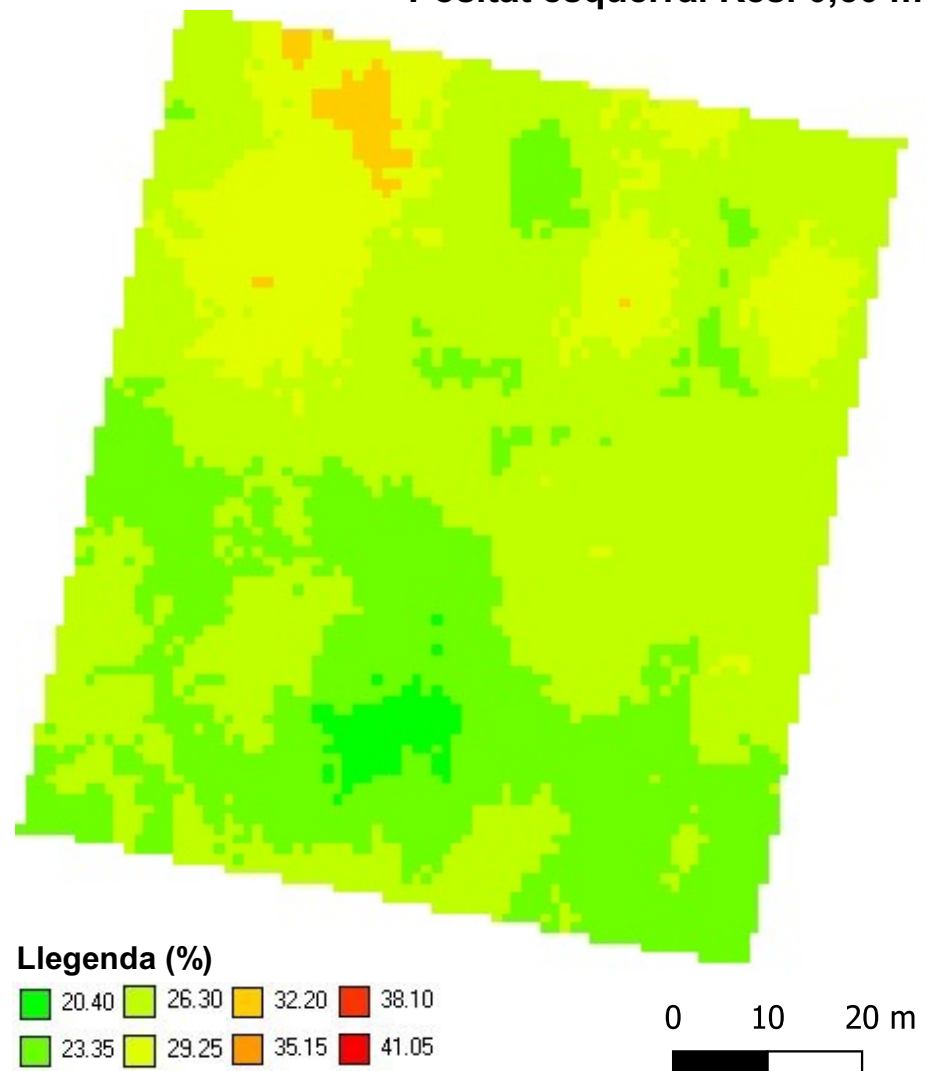
Lleida, juny 2020



Positat esquerra. Res. 0,25 m



Positat esquerra. Res. 0,50 m



COMPARACIÓ 0,25 m i 0,50 m

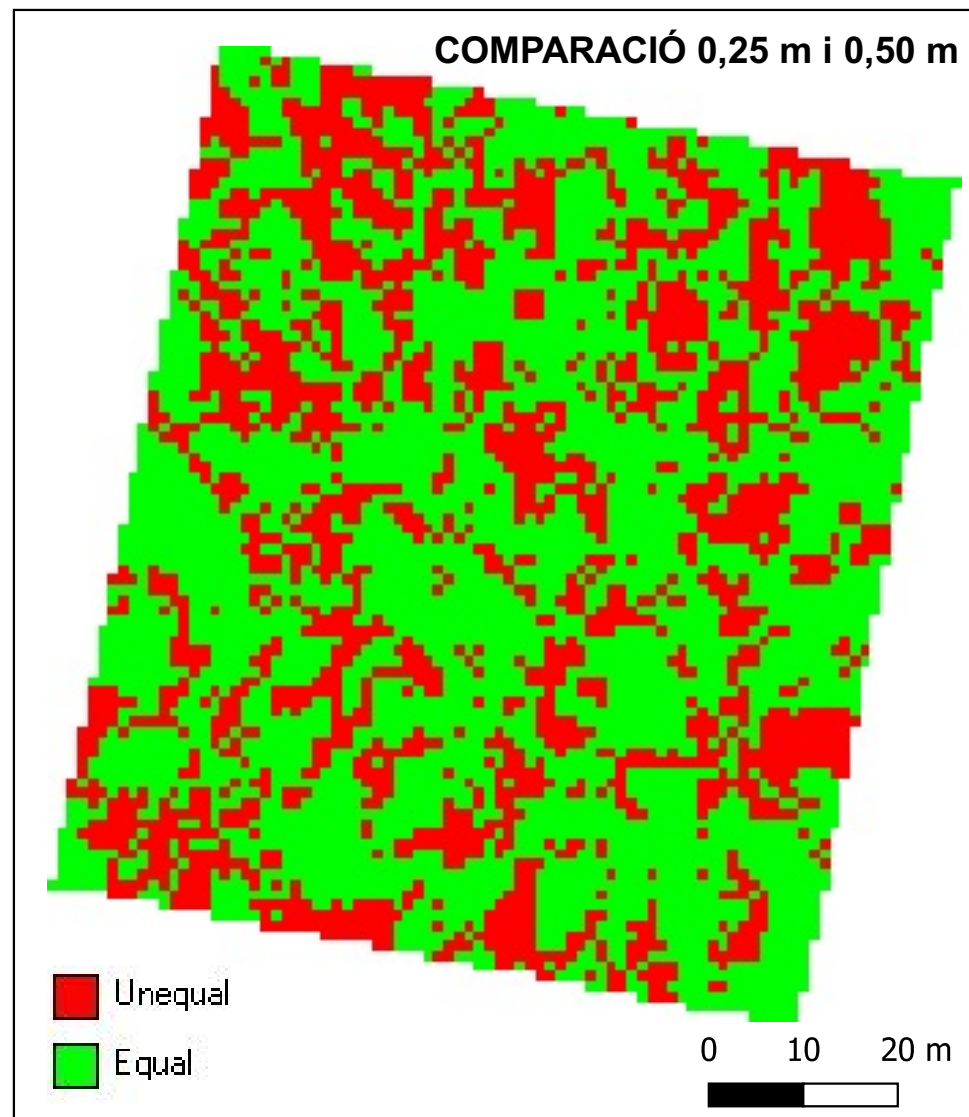


DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,25 m

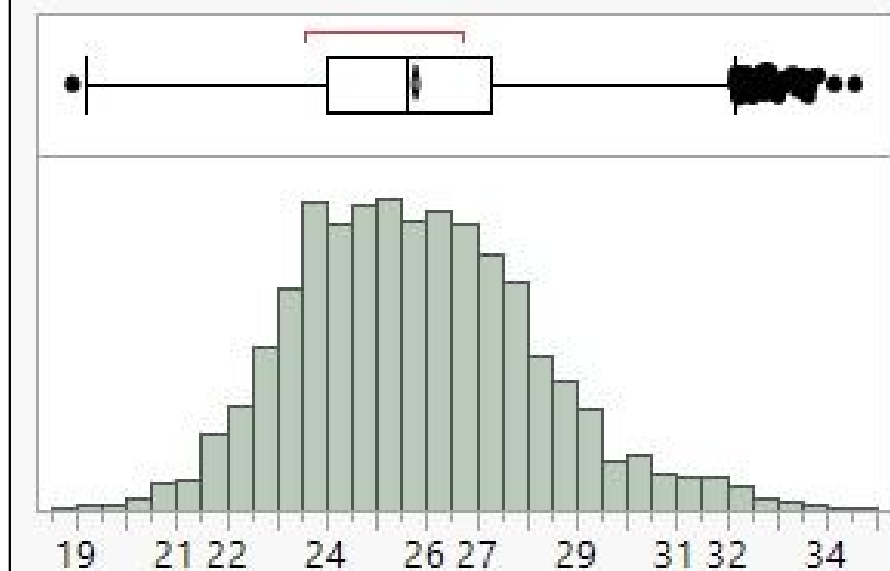
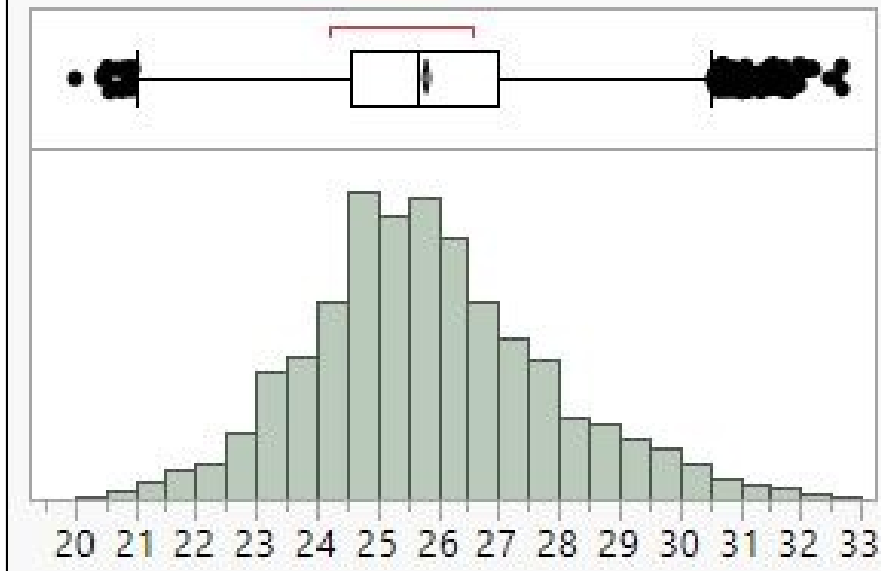
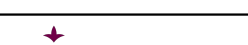

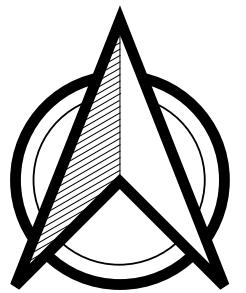


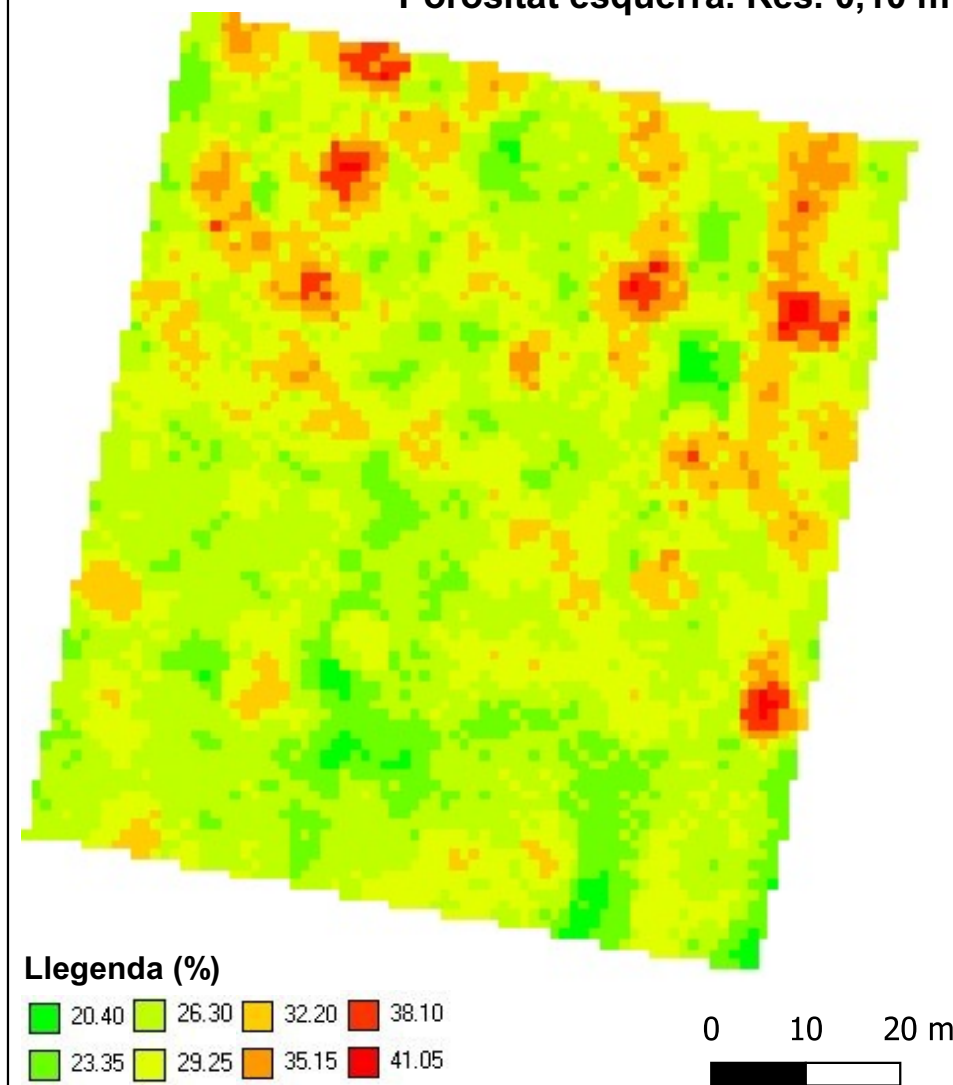
DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,50 m



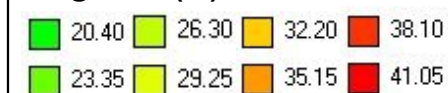
AUTOR: HELENA CAMATS TERRÉ	NÚMERO DE MAPA: 23 de 41	GEOREFENCIACIÓ: ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0	TÍTOL DEL PROJECTE: Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.	DATA: Lleida, juny 2020
 Universitat de Lleida  Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària	TÍTOL DEL MAPA: Comparació porositats esquerres i diagrames de caixa a les resolucions de 0,25 m i 0,50 m (22/06/2019).			



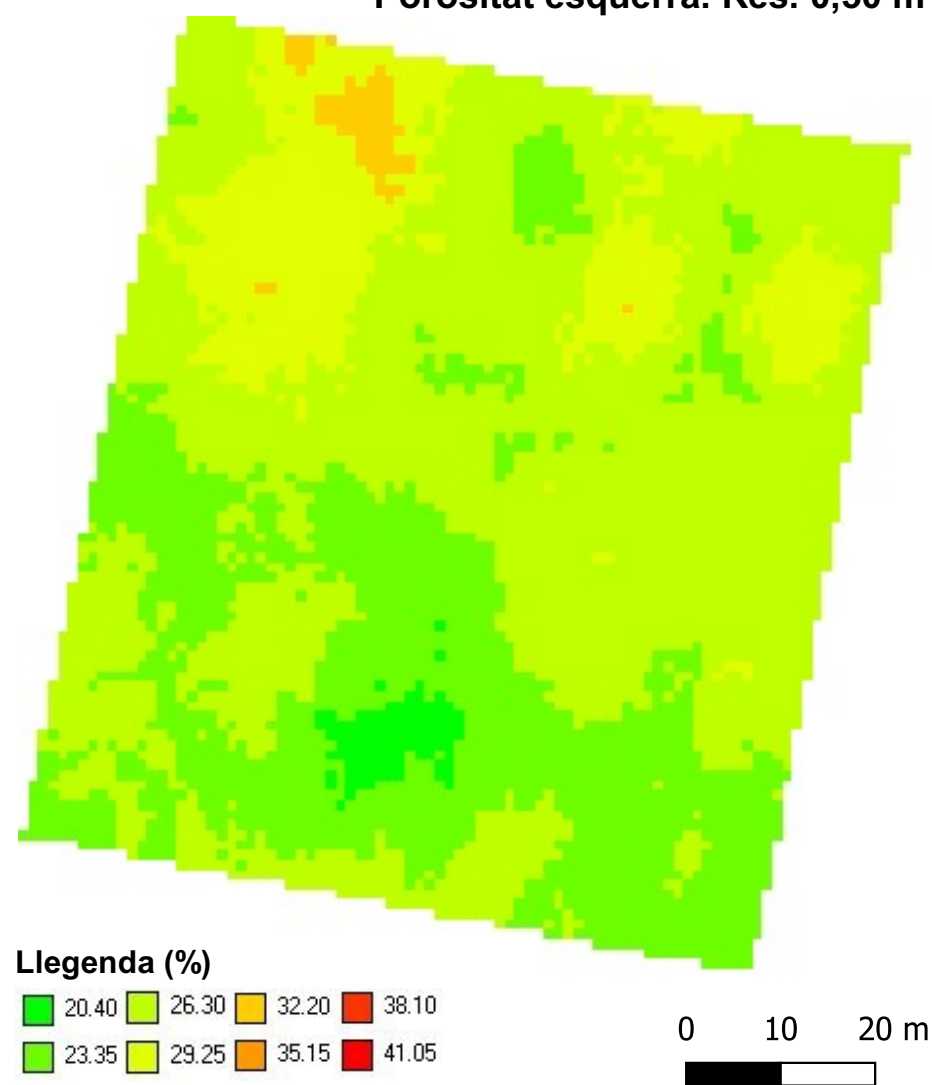
Porositat esquerra. Res. 0,10 m



Llegenda (%)



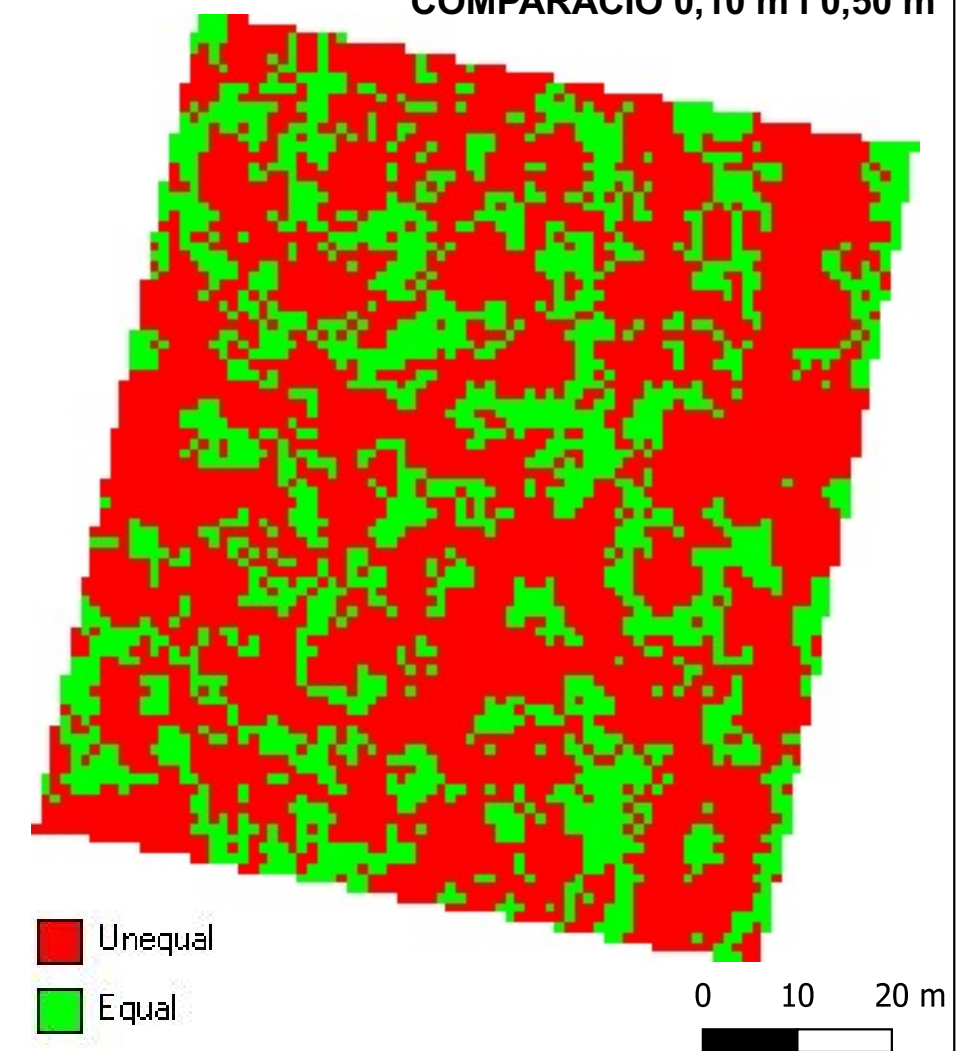
Porositat esquerra. Res. 0,50 m



Llegenda (%)



COMPARACIÓ 0,10 m i 0,50 m



Unequal
Equal

DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,10 m

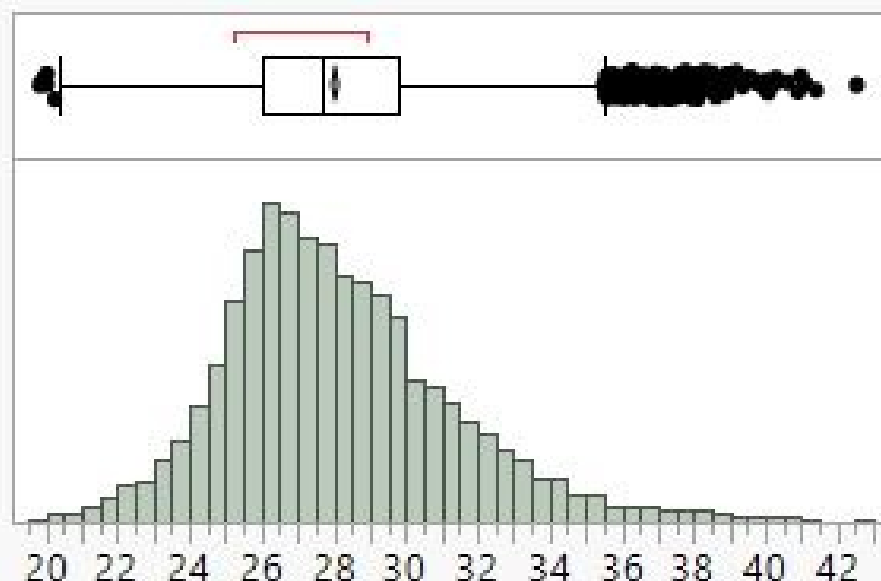
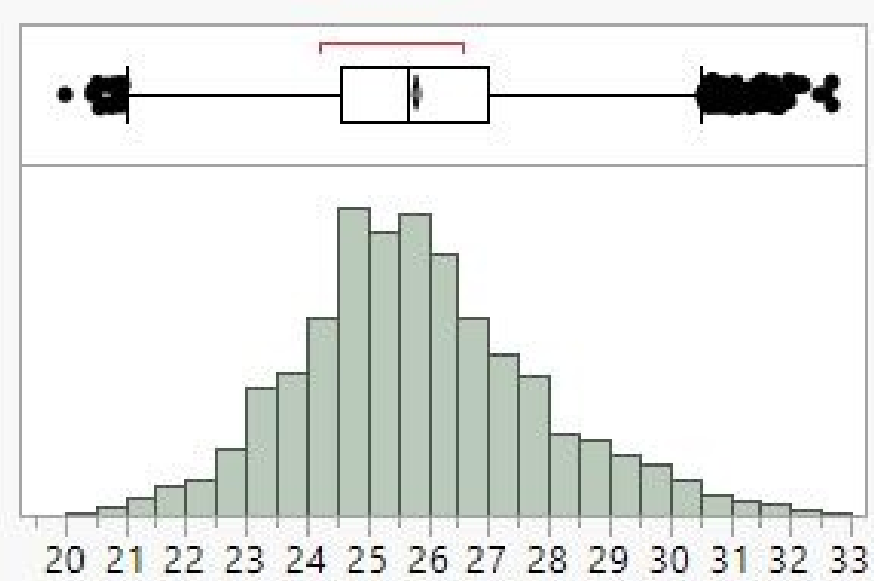


DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,50 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
22 de 41

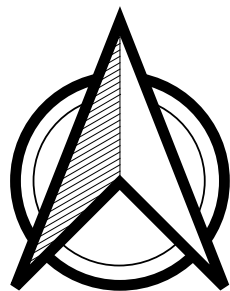
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

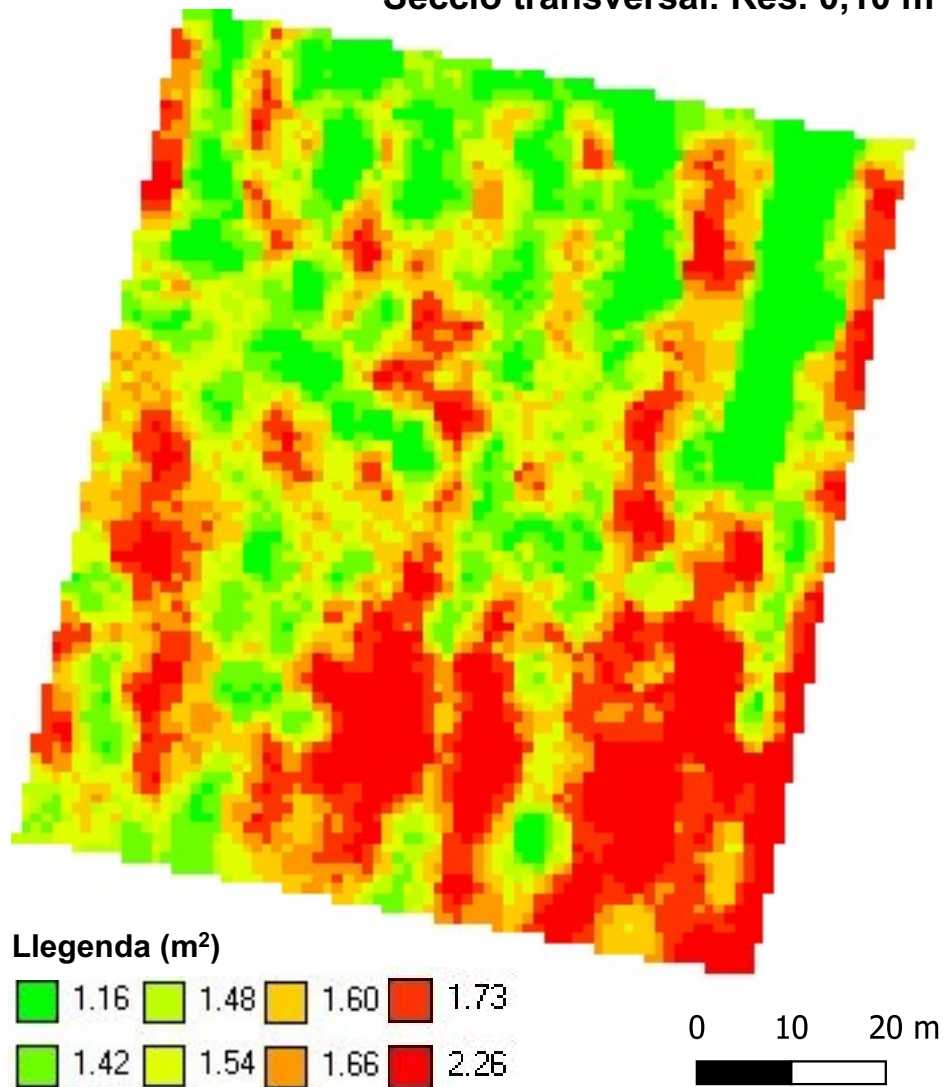
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

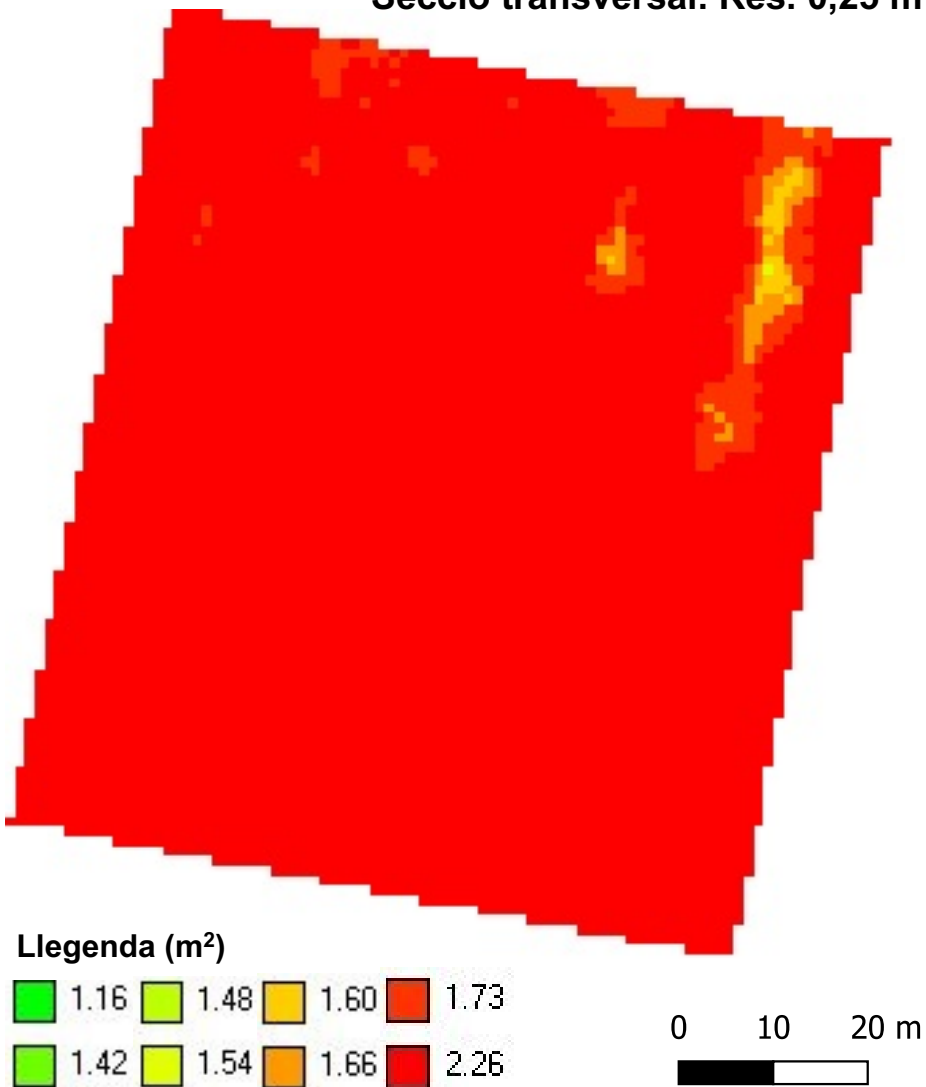
Lleida, juny 2020



Secció transversal. Res. 0,10 m



Secció transversal. Res. 0,25 m



COMPARACIÓ 0,10 m i 0,25 m

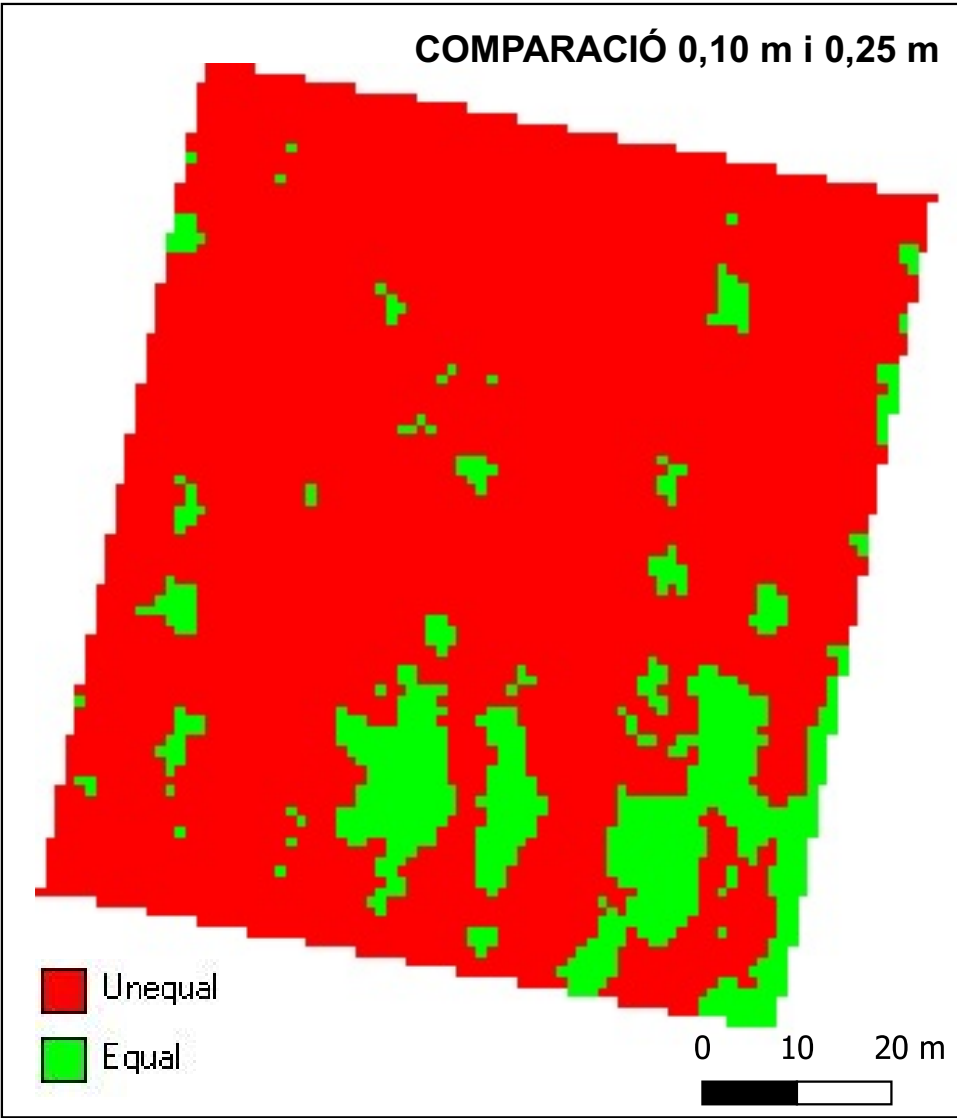


DIAGRAMA DE CAIXA (m²). RESOLUCIÓ 0,10 m

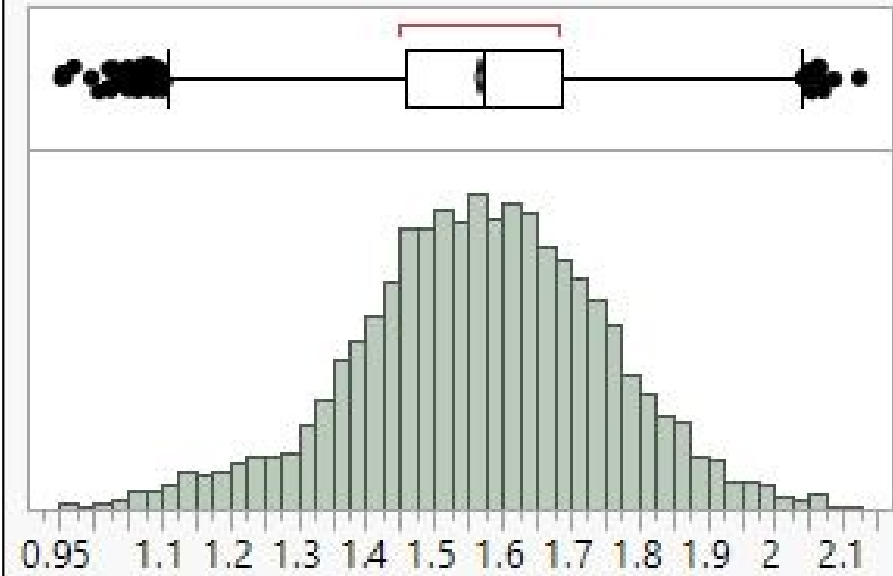
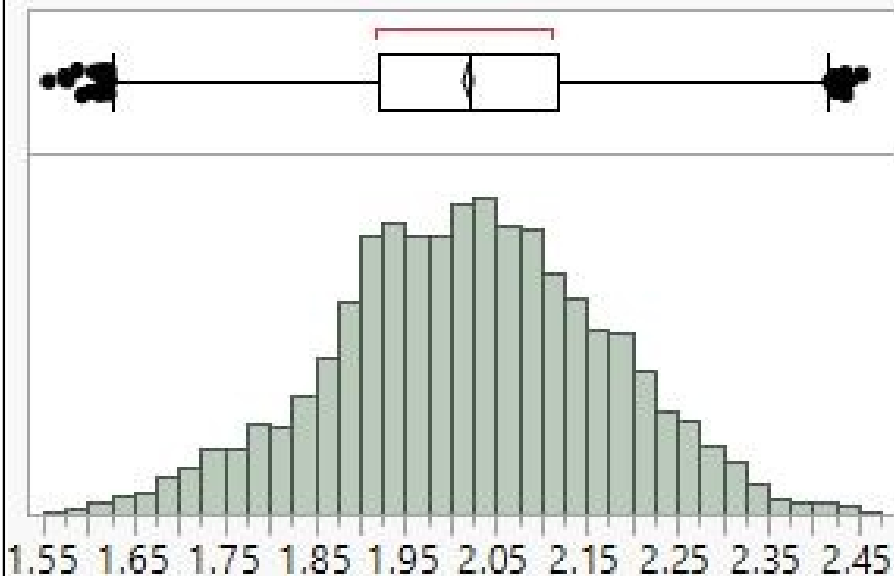


DIAGRAMA DE CAIXA (m²). RESOLUCIÓ 0,25 m



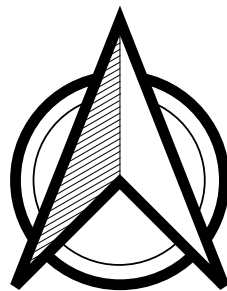
AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
24 de 41

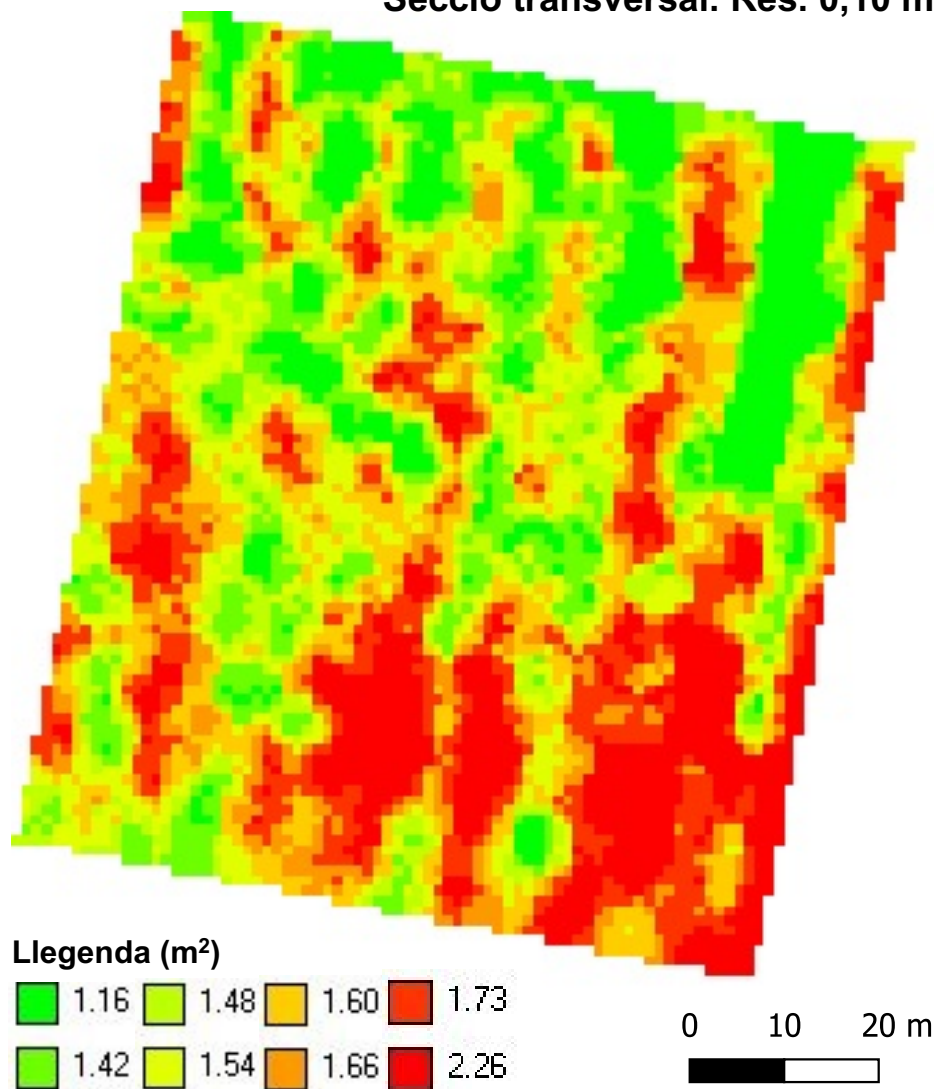
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una
plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental
de fertirrigació.

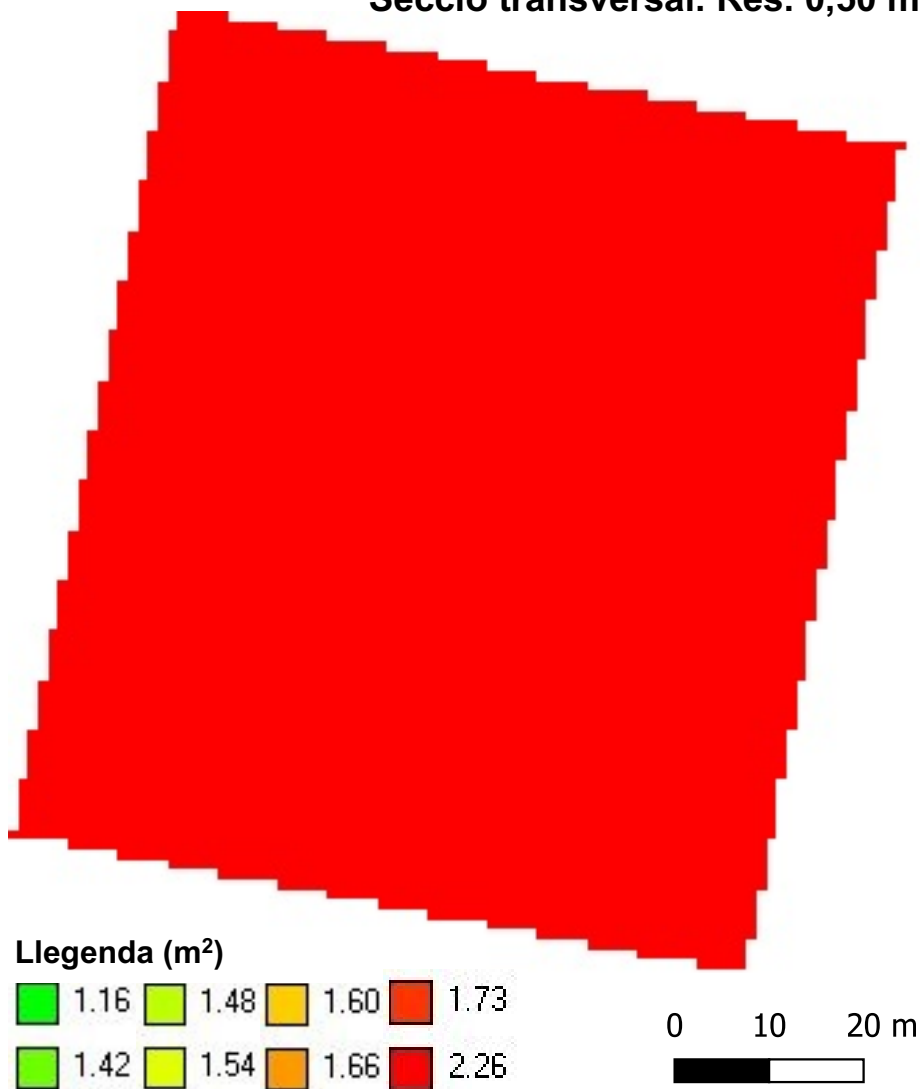
DATA:
Lleida, juny 2020



Secció transversal. Res. 0,10 m



Secció transversal. Res. 0,50 m



COMPARACIÓ 0,10 m i 0,50 m

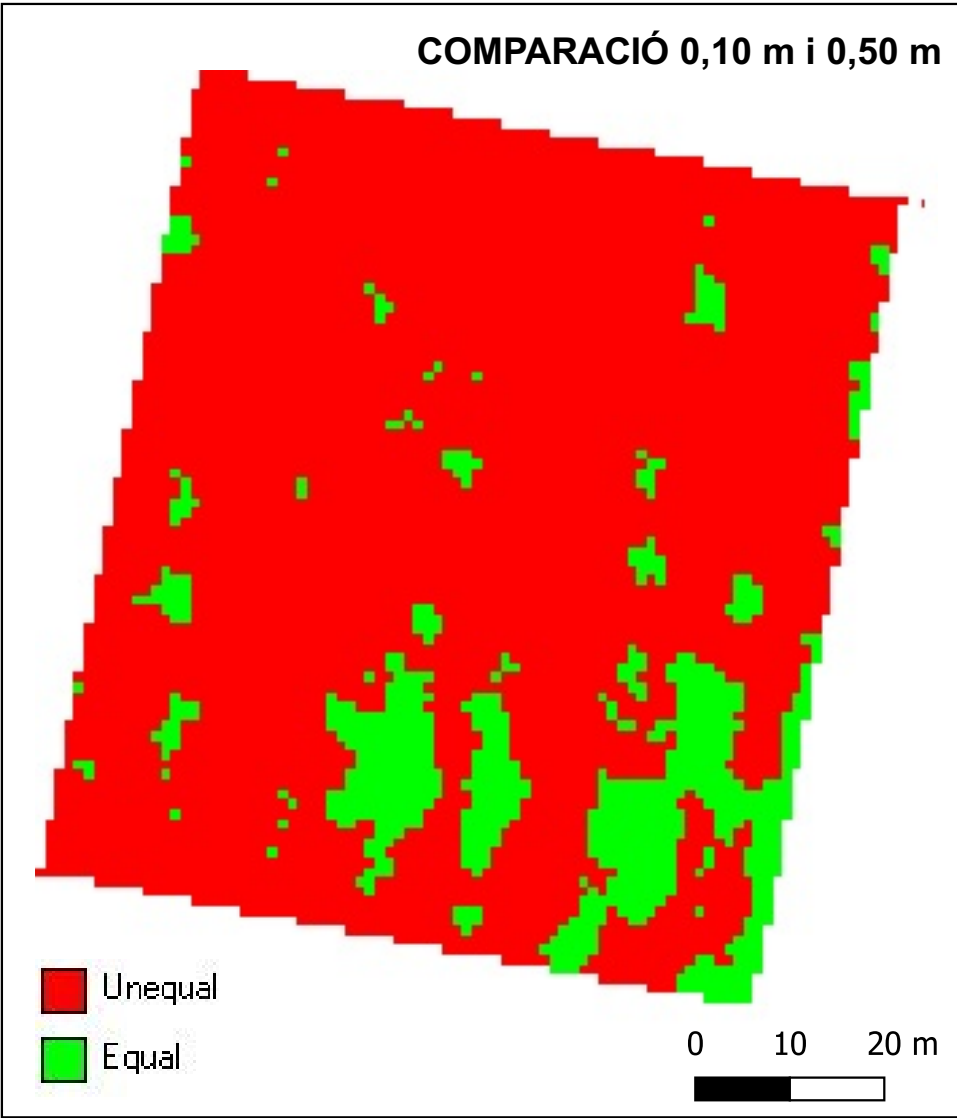


DIAGRAMA DE CAIXA (m²). RESOLUCIÓ 0,10 m

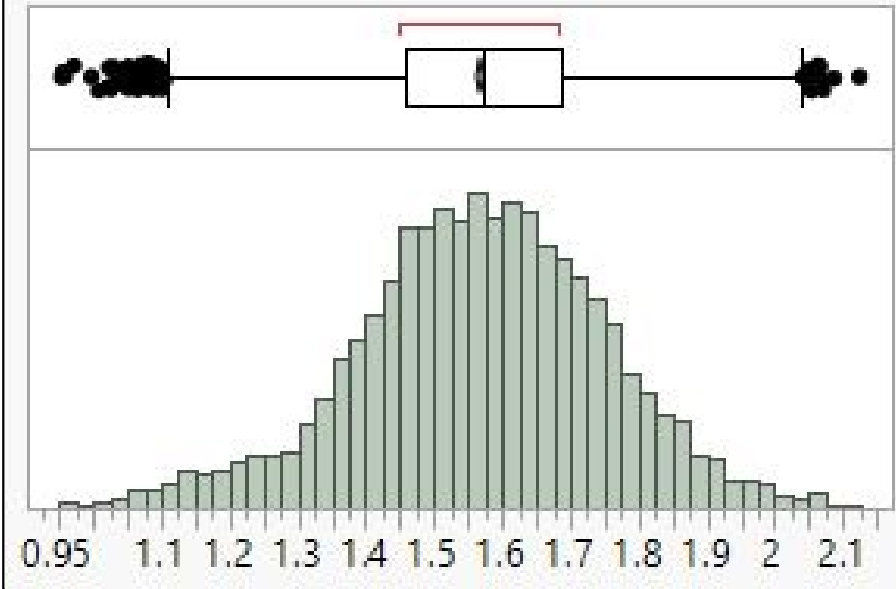
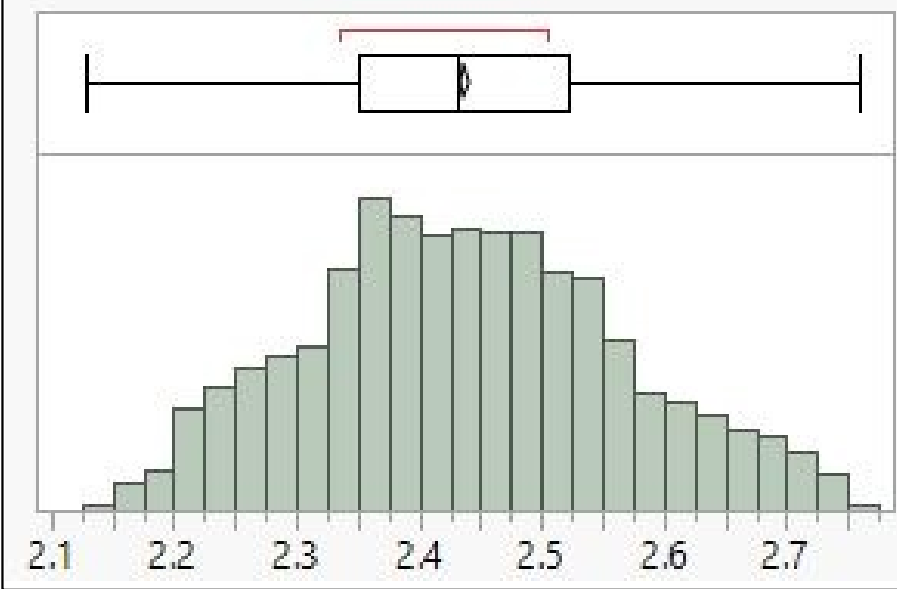


DIAGRAMA DE CAIXA (m²). RESOLUCIÓ 0,50 m



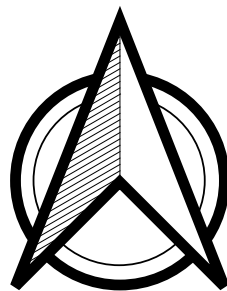
AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
25 de 41

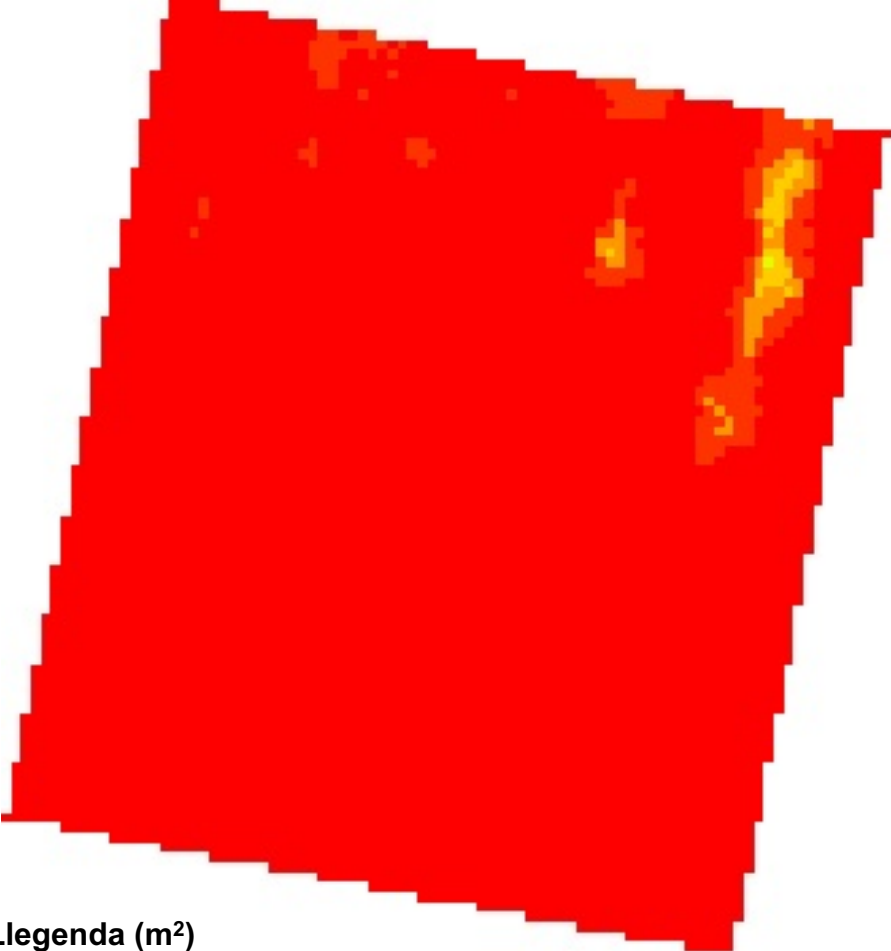
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

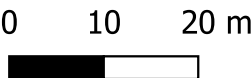
DATA:
Lleida, juny 2020



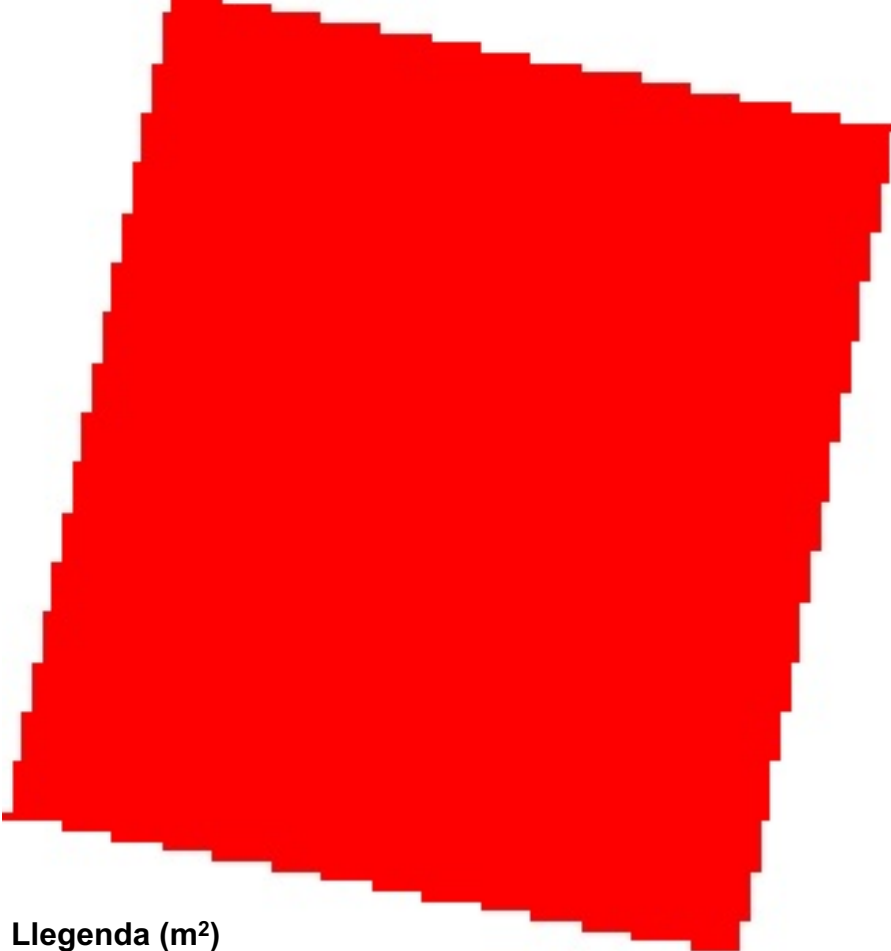
Secció transversal. Res. 0,25 m



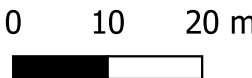
Llegenda (m²)



Secció transversal. Res. 0,50 m



Llegenda (m²)



COMPARACIÓ 0,25 m i 0,50 m

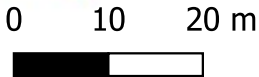
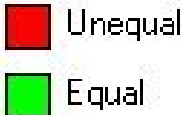
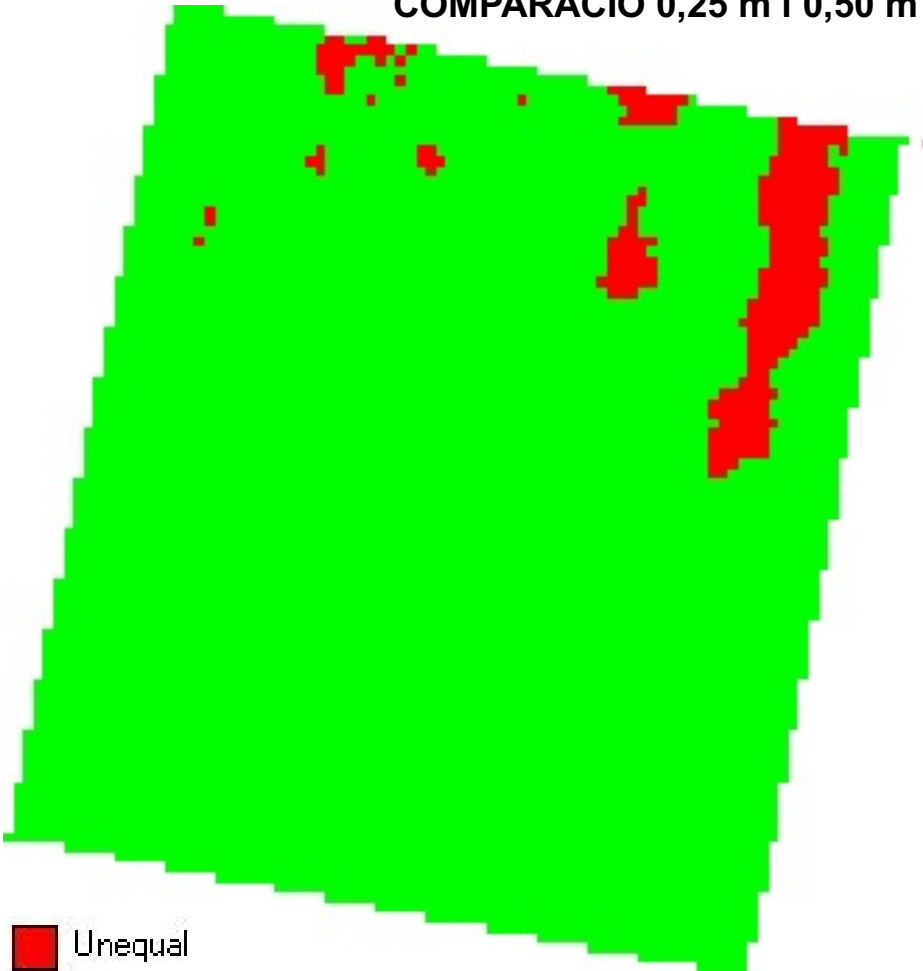


DIAGRAMA DE CAIXA (m²). RESOLUCIÓ 0,25 m

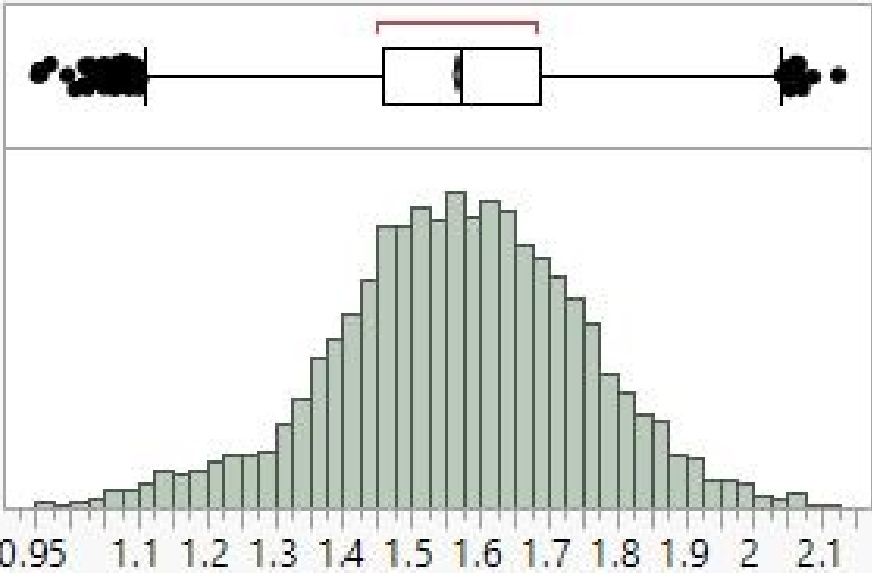
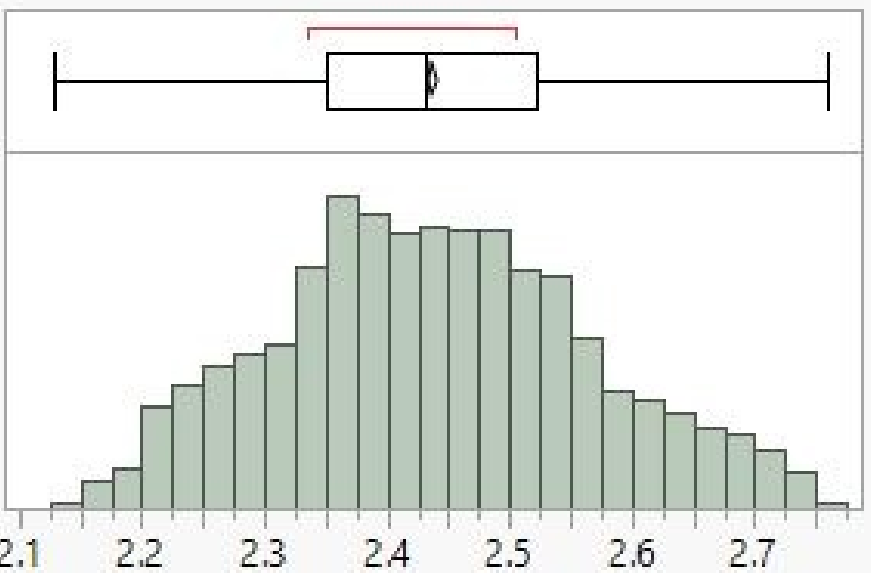


DIAGRAMA DE CAIXA (m²). RESOLUCIÓ 0,50 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
26 de 41

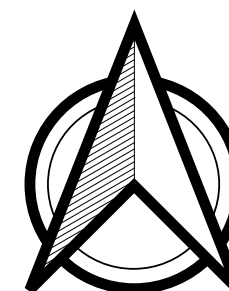
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una
plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental
de fertirrigació.

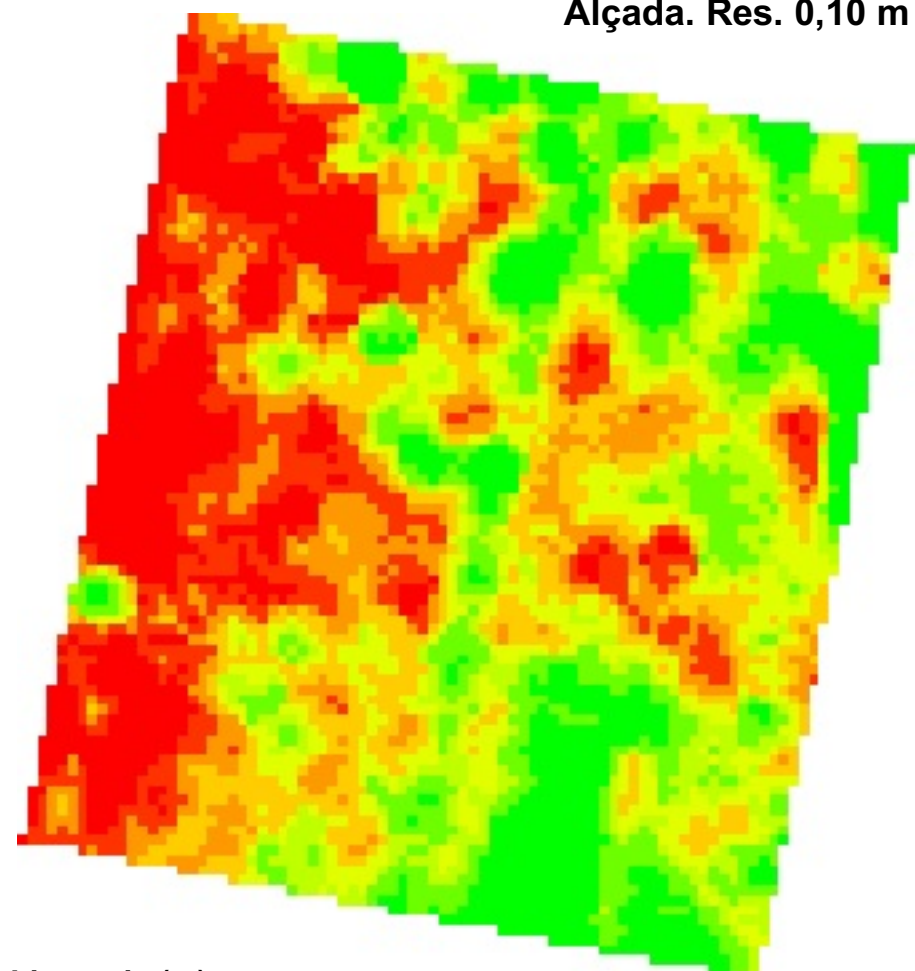
DATA:
Lleida, juny 2020



TÍTOL DEL MAPA:
Comparació seccions transversals i diagrames de caixa a
les resolucions de 0,25 m i 0,50 m (22/06/2019).



Alçada. Res. 0,10 m



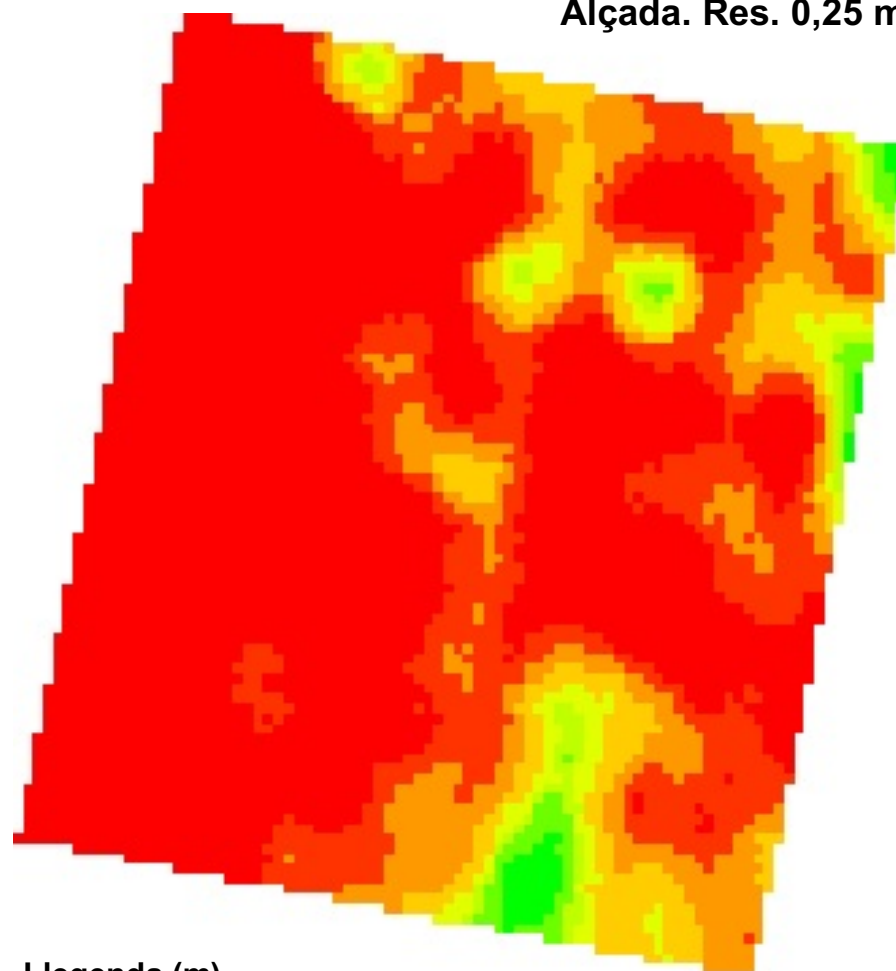
Llegenda (m)



0 10 20 m



Alçada. Res. 0,25 m



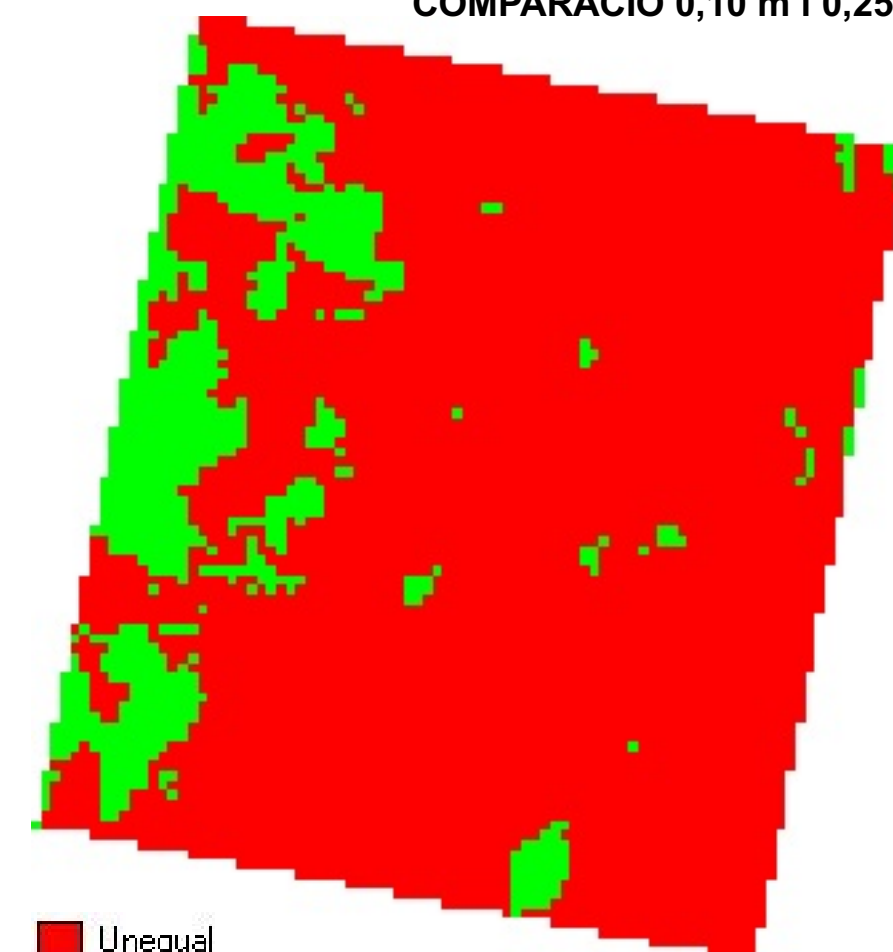
Llegenda (m)



0 10 20 m



COMPARACIÓ 0,10 m i 0,25 m



Unequal

Equal

0 10 20 m



DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,10 m

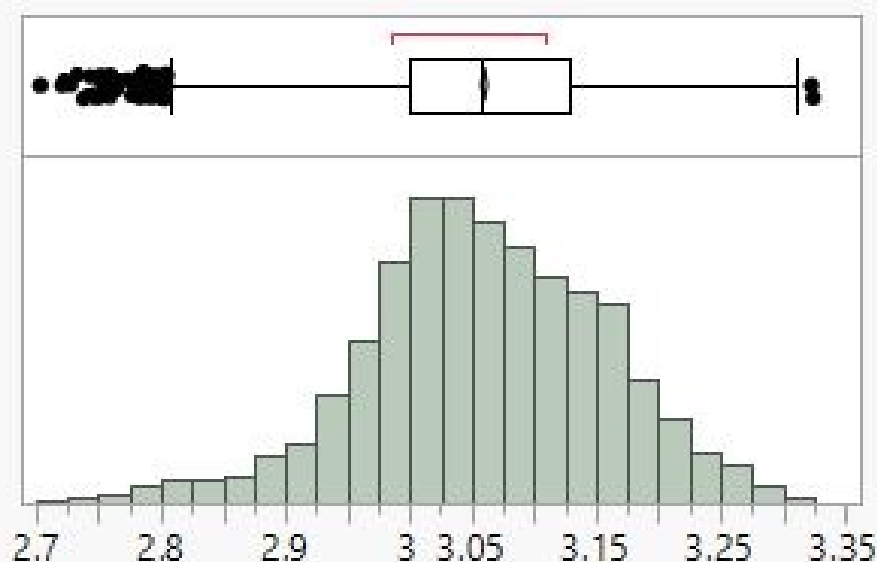
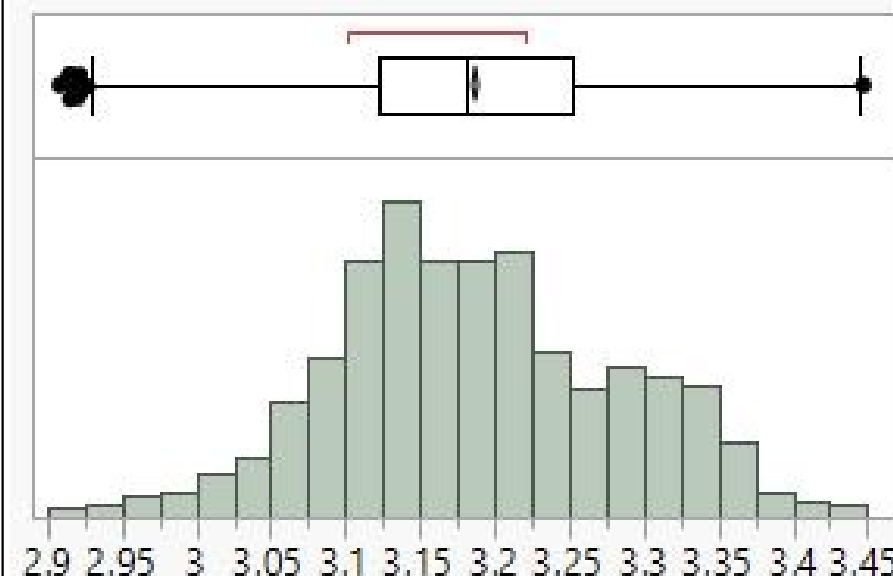


DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,25 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
27 de 41

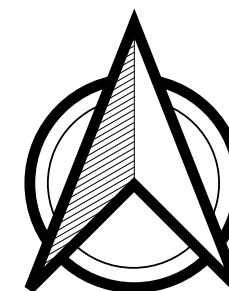
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

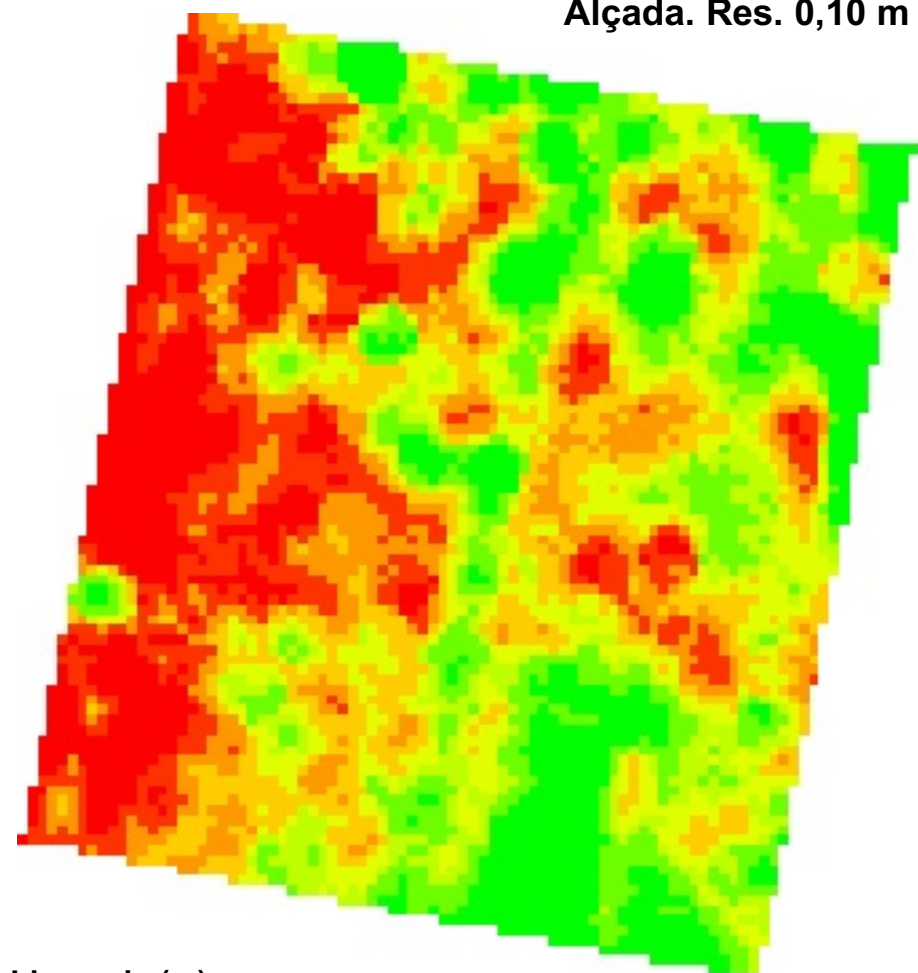
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

Lleida, juny 2020



Alçada. Res. 0,10 m



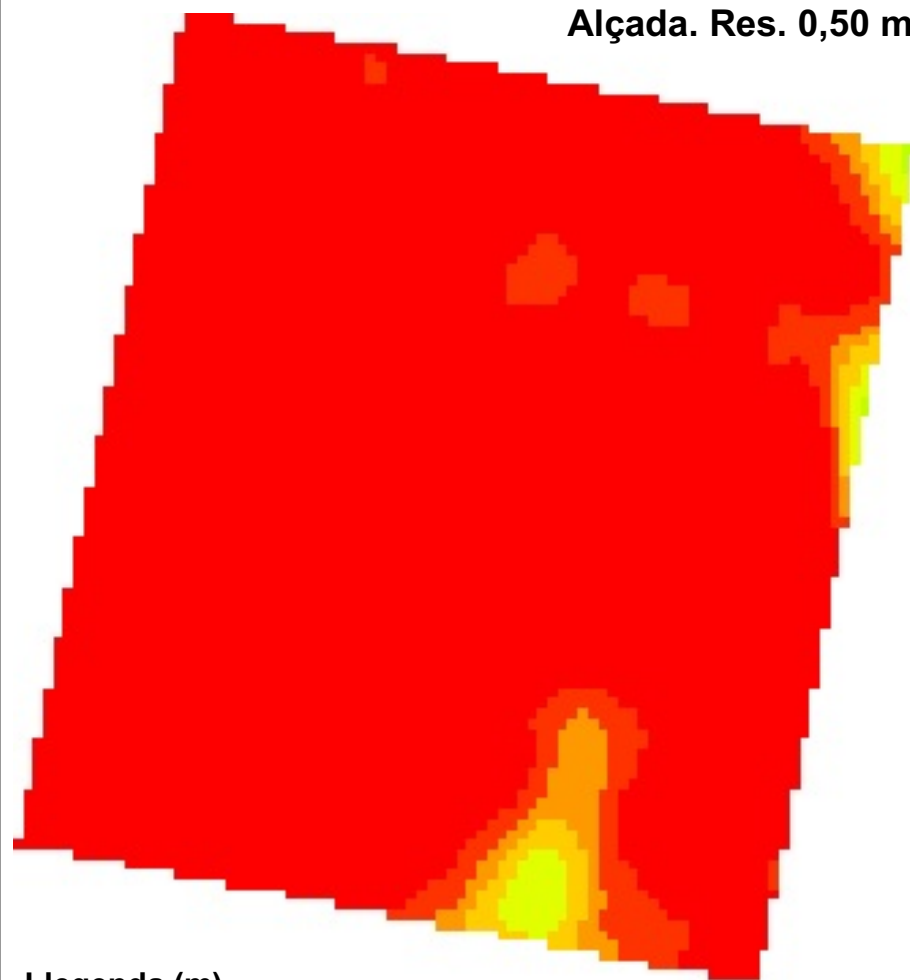
Llegenda (m)



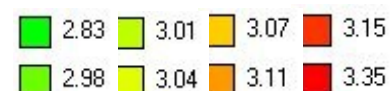
0 10 20 m



Alçada. Res. 0,50 m



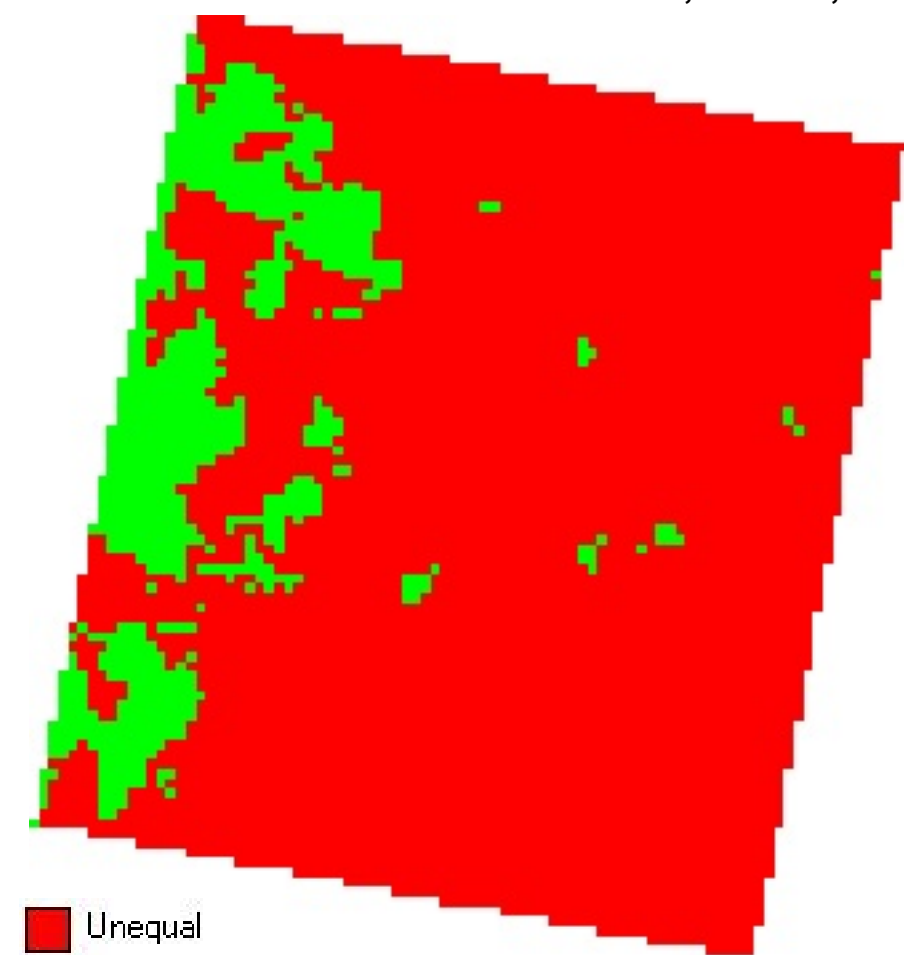
Llegenda (m)



0 10 20 m



COMPARACIÓ 0,10 m i 0,50 m



Unequal

Equal

0 10 20 m



DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,10 m

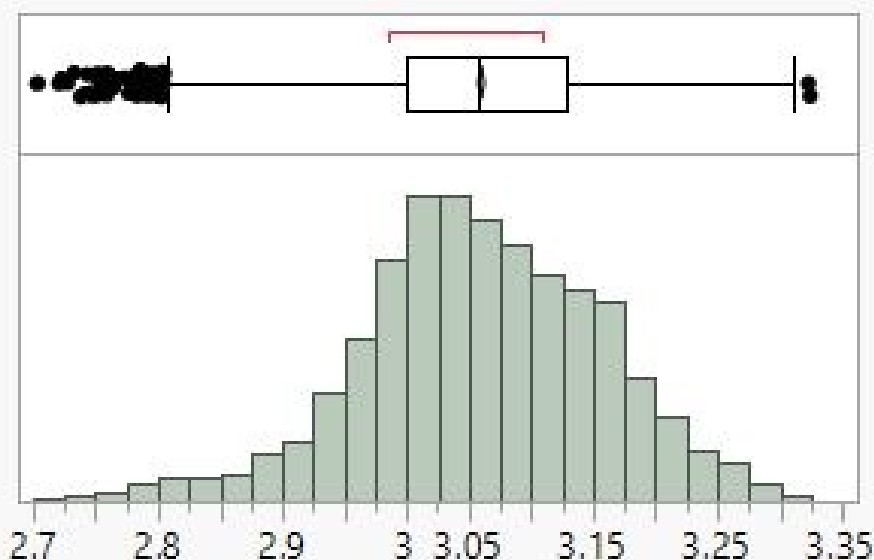
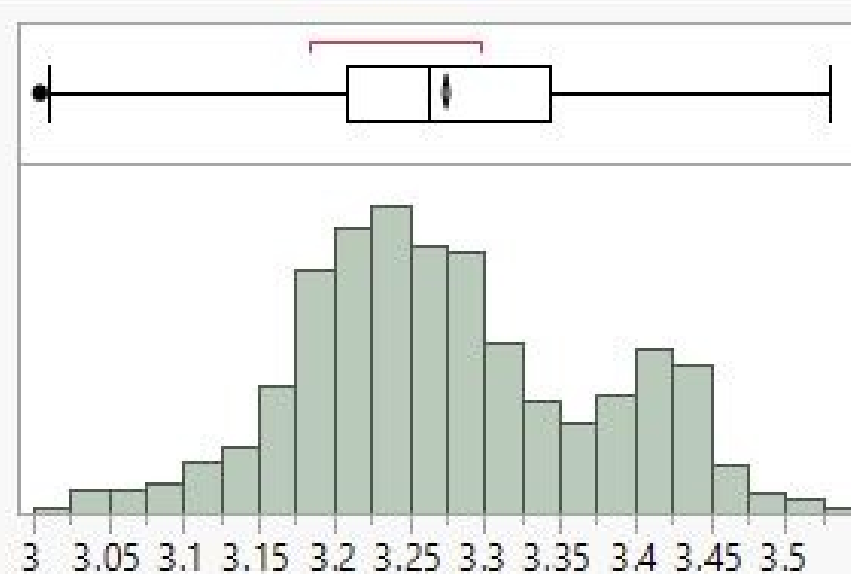


DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,50 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
28 de 41

GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

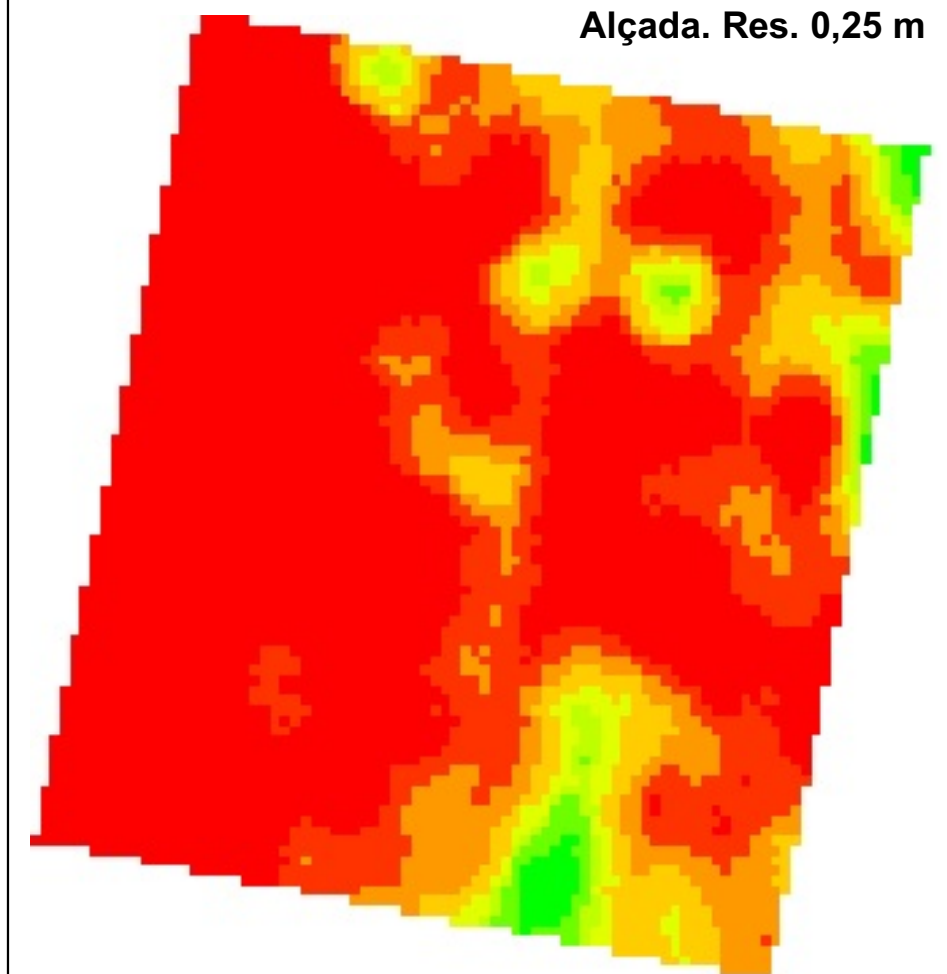
TÍTOL DEL PROJECTE:

Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

Lleida, juny 2020

Alçada. Res. 0,25 m



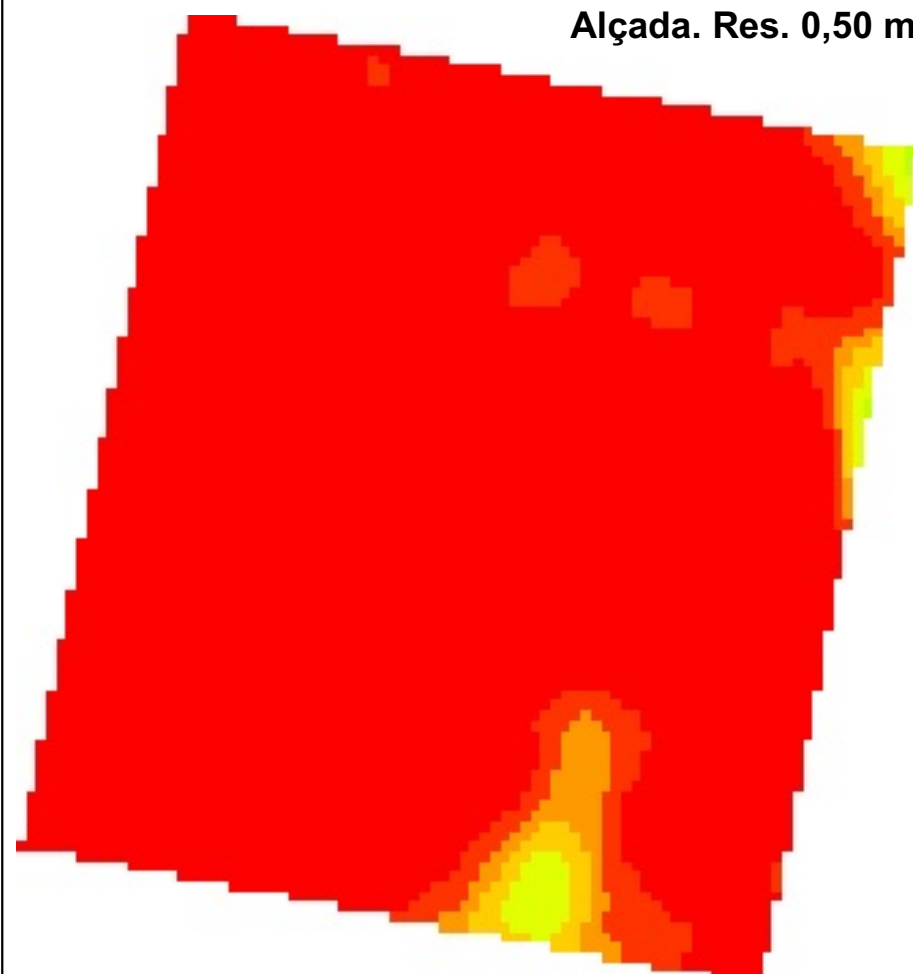
Llegenda (m)



0 10 20 m



Alçada. Res. 0,50 m



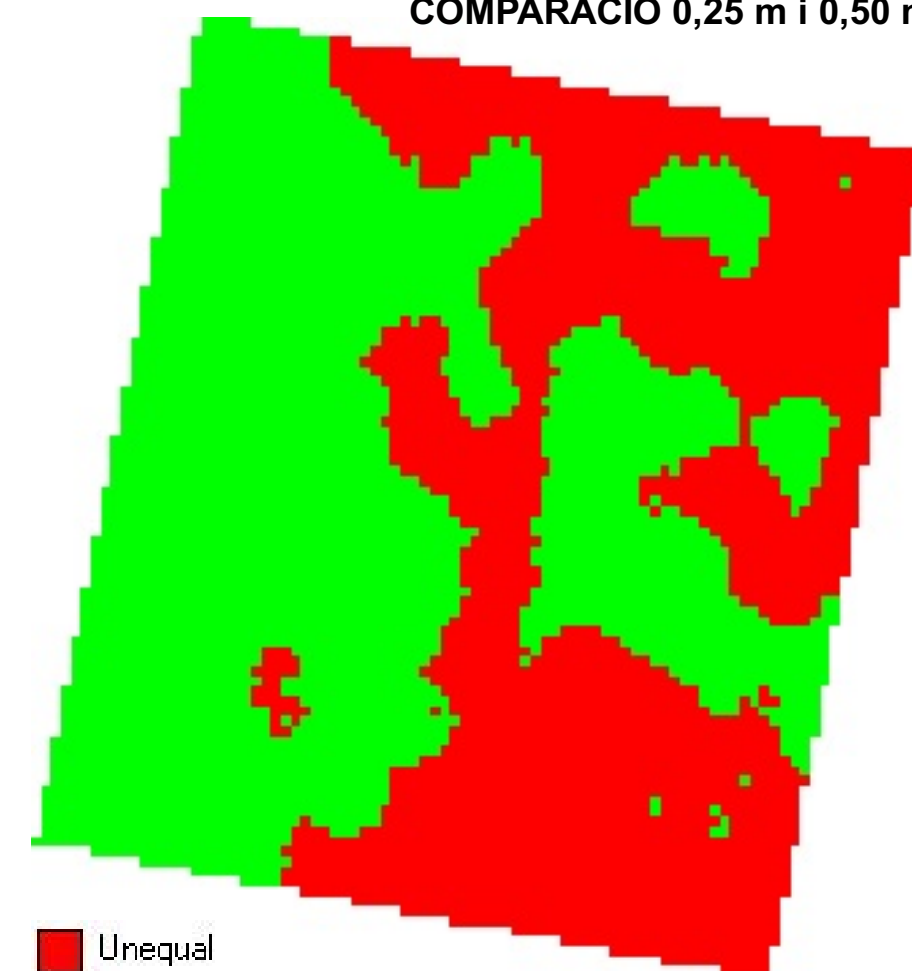
Llegenda (m)



0 10 20 m



COMPARACIÓ 0,25 m i 0,50 m



Unequal
Equal

0 10 20 m



DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,25 m

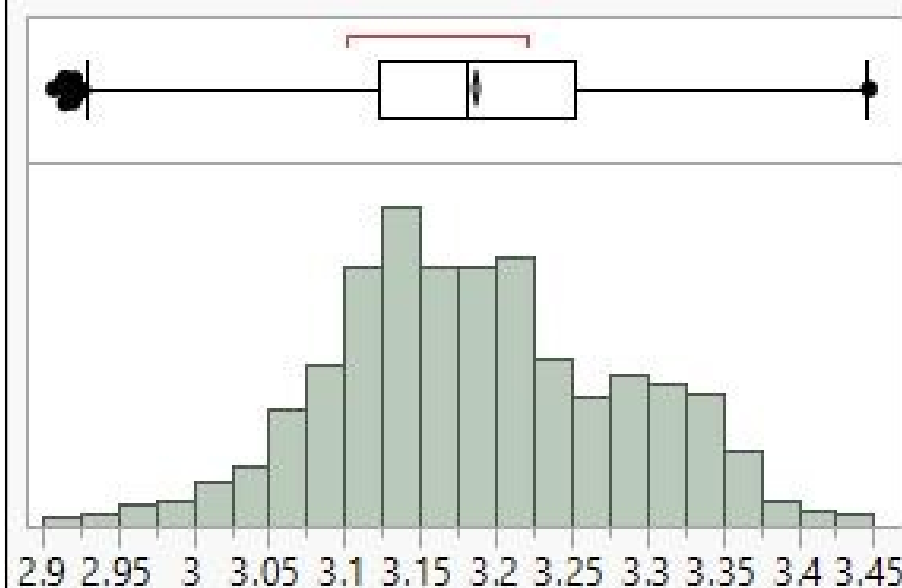
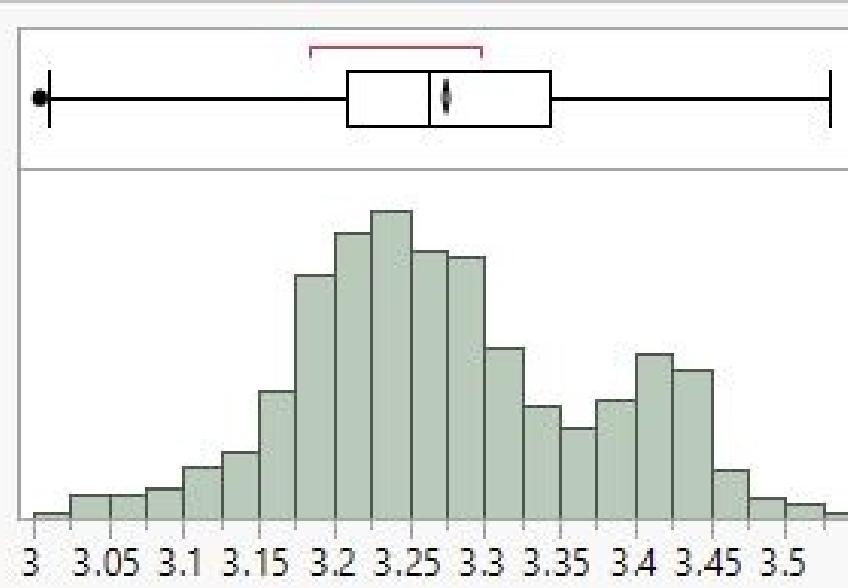


DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,50 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
29 de 41

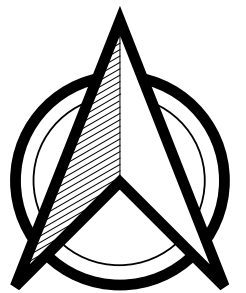
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

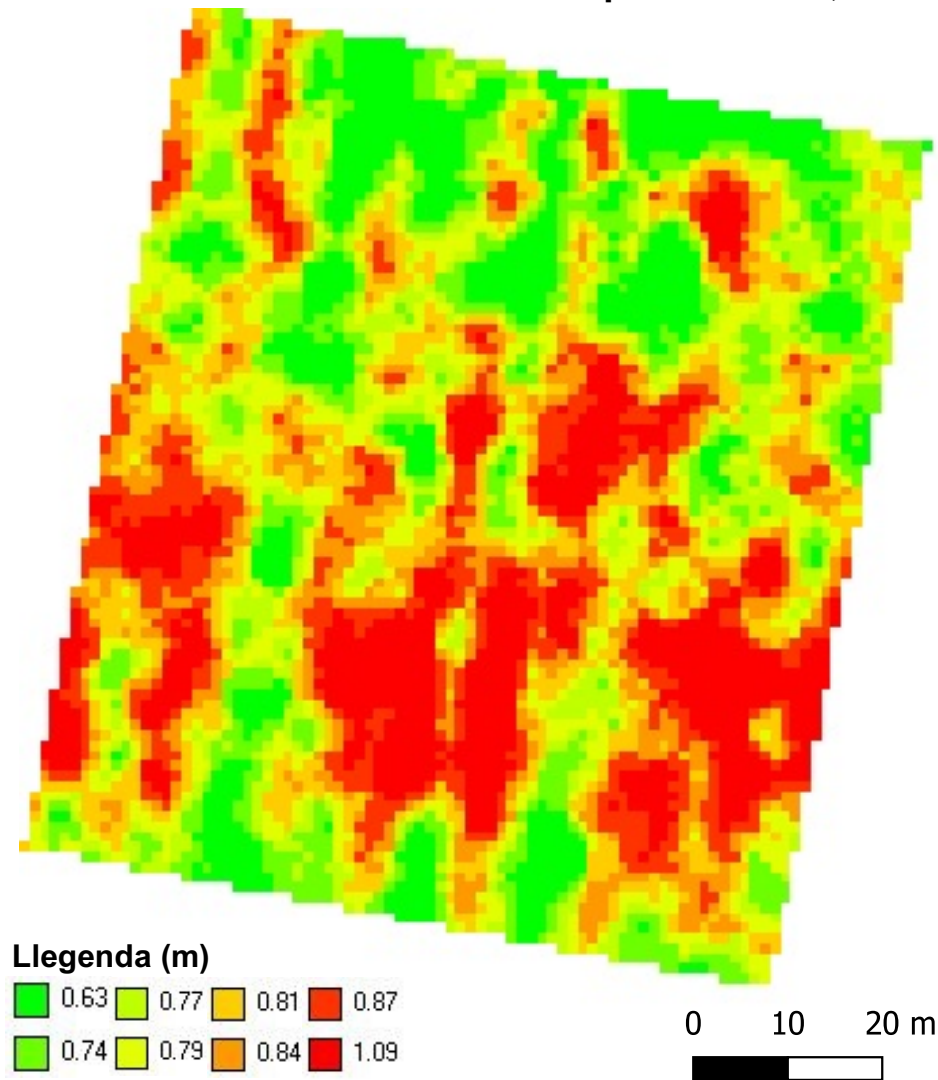
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

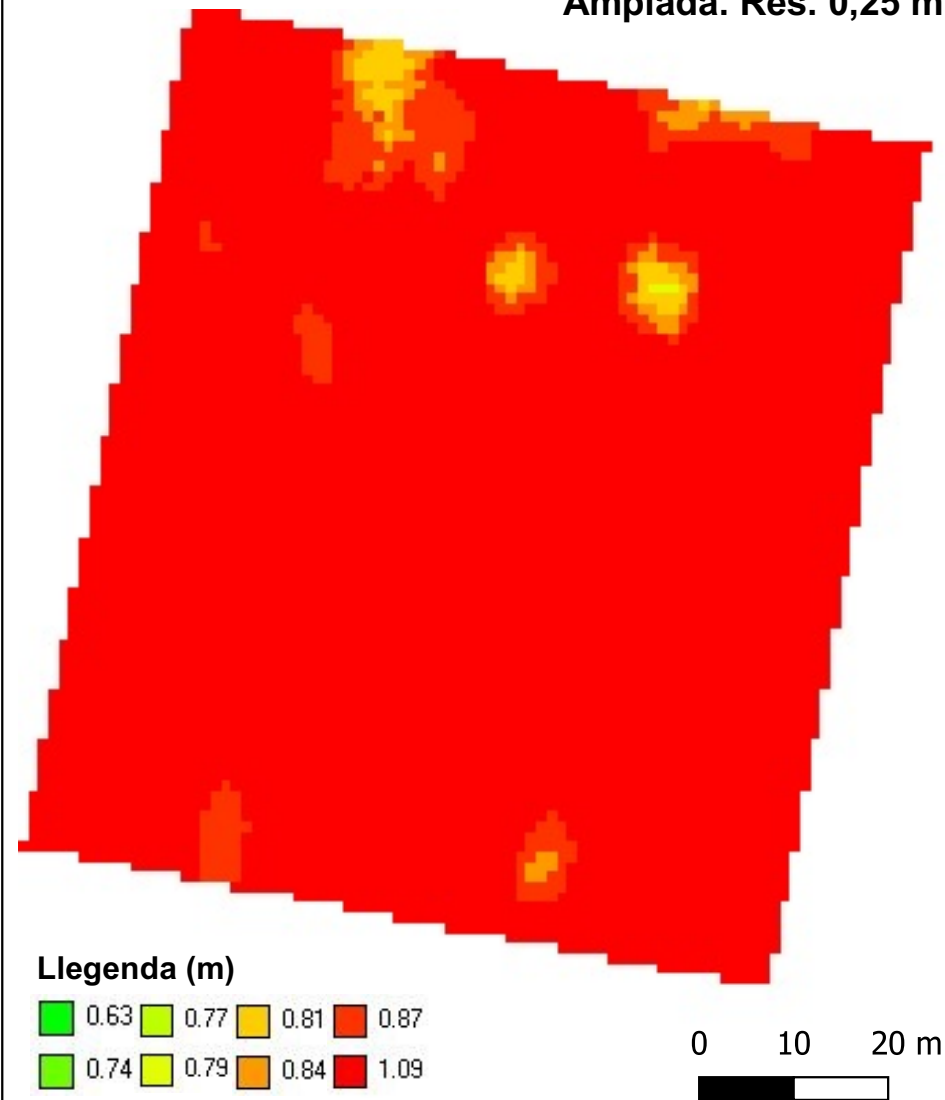
Lleida, juny 2020



Amplada. Res. 0,10 m



Amplada. Res. 0,25 m



COMPARACIÓ 0,10 m i 0,25 m

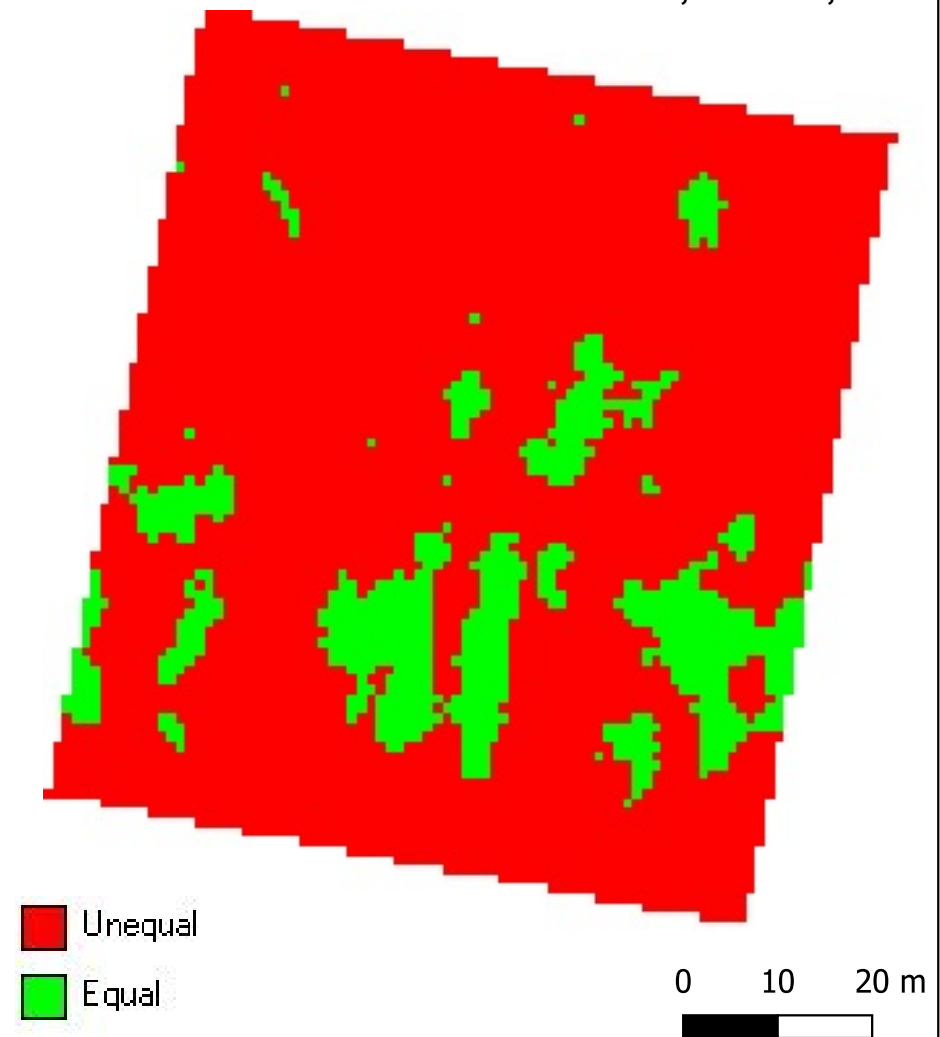


DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,10 m

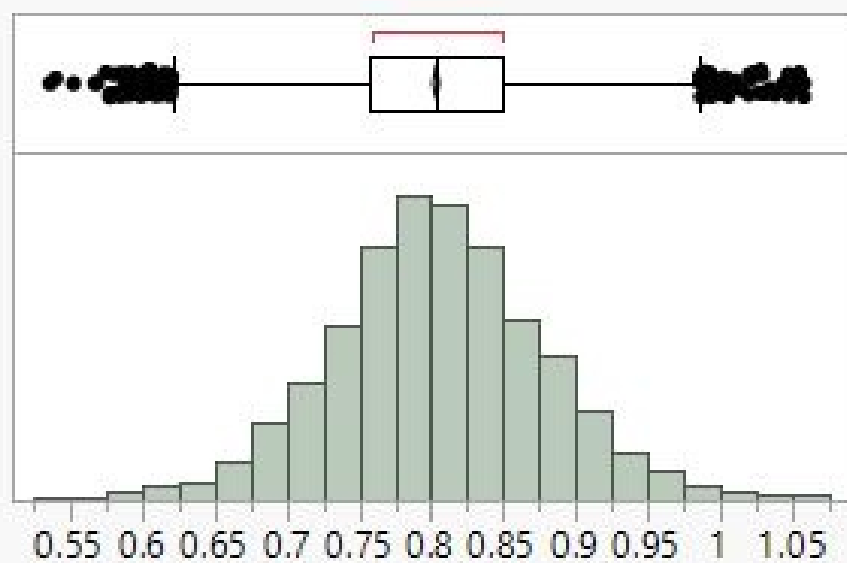
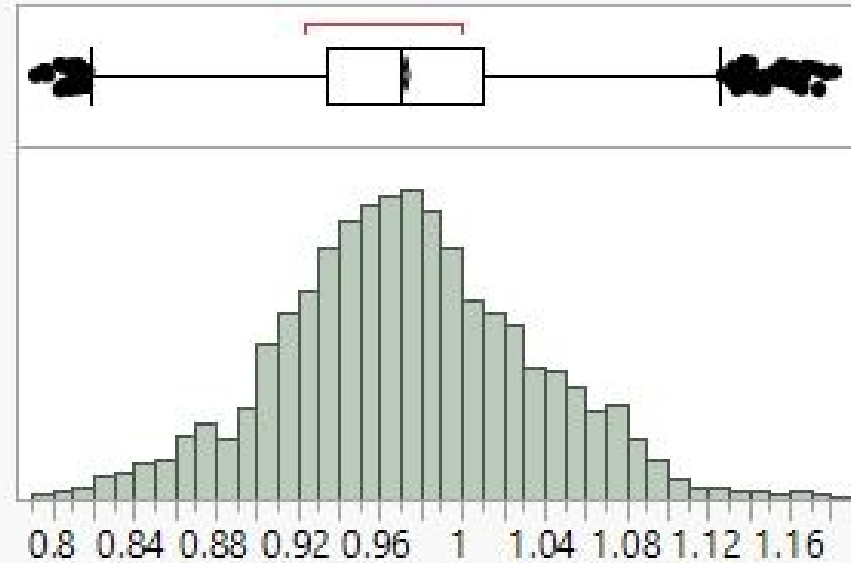


DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,25 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
30 de 41

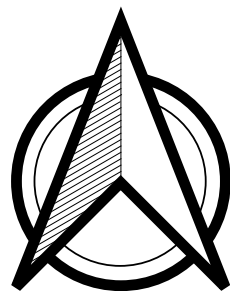
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

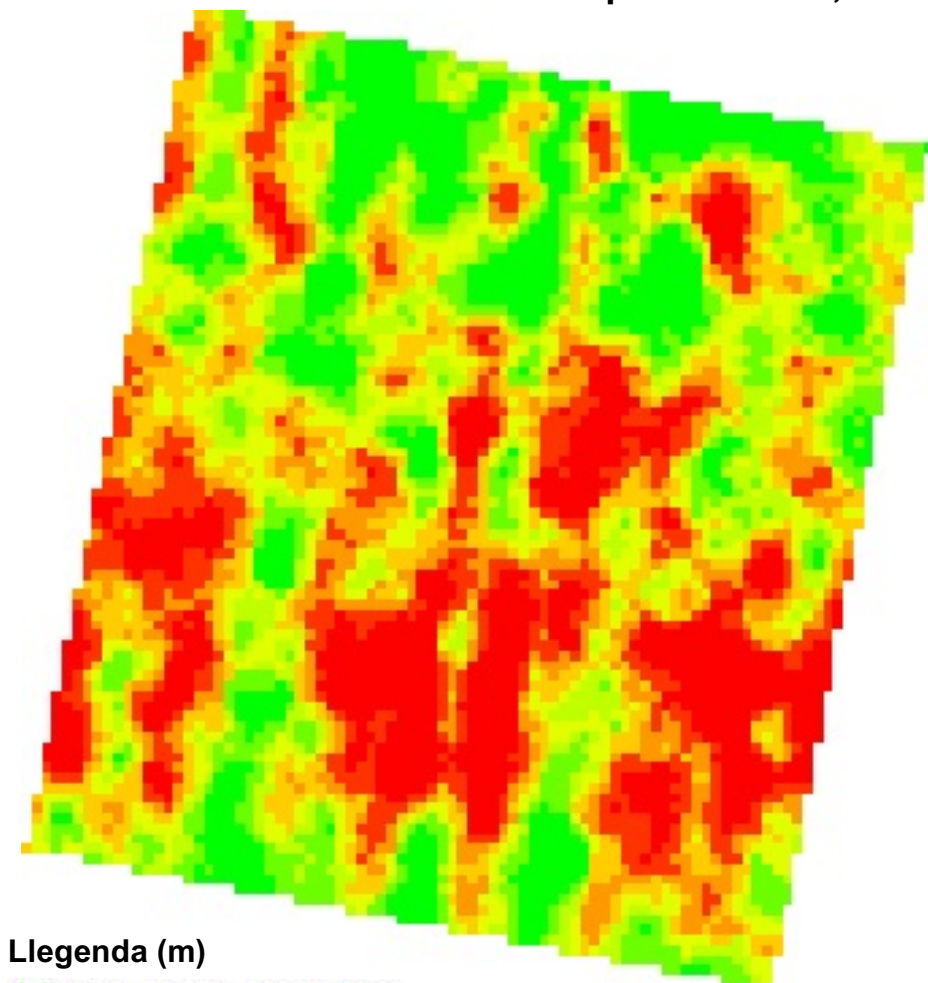
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

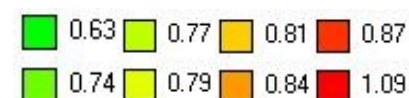
Lleida, juny 2020



Amplada. Res. 0,10 m

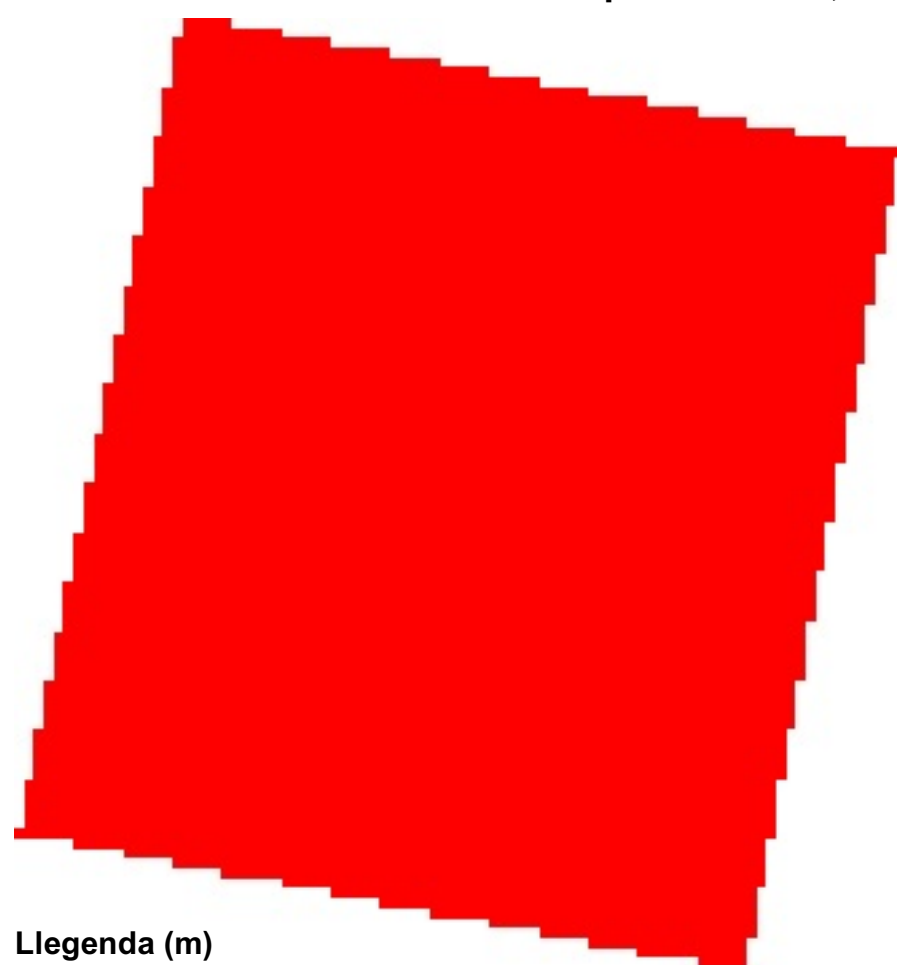


Llegenda (m)

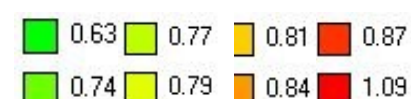


0 10 20 m

Amplada. Res. 0,50 m

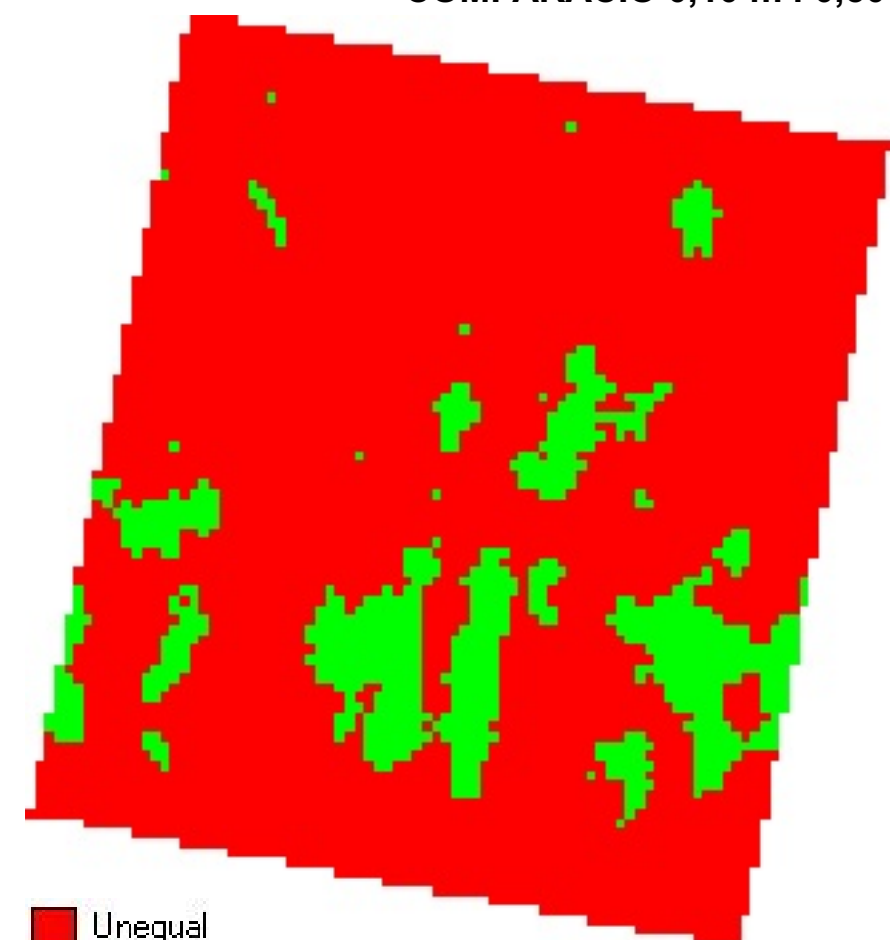


Llegenda (m)



0 10 20 m

COMPARACIÓ 0,10 m i 0,50 m



Unequal

Equal

0 10 20 m

DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,10 m

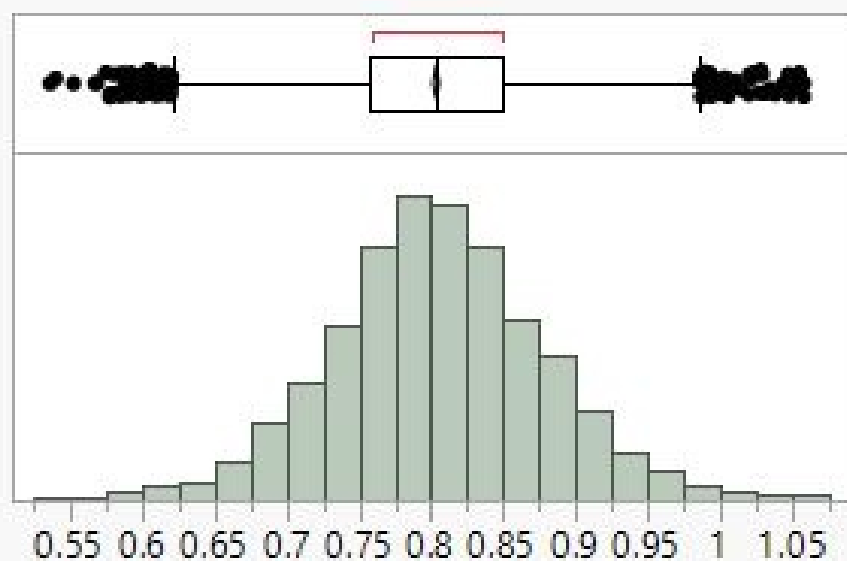
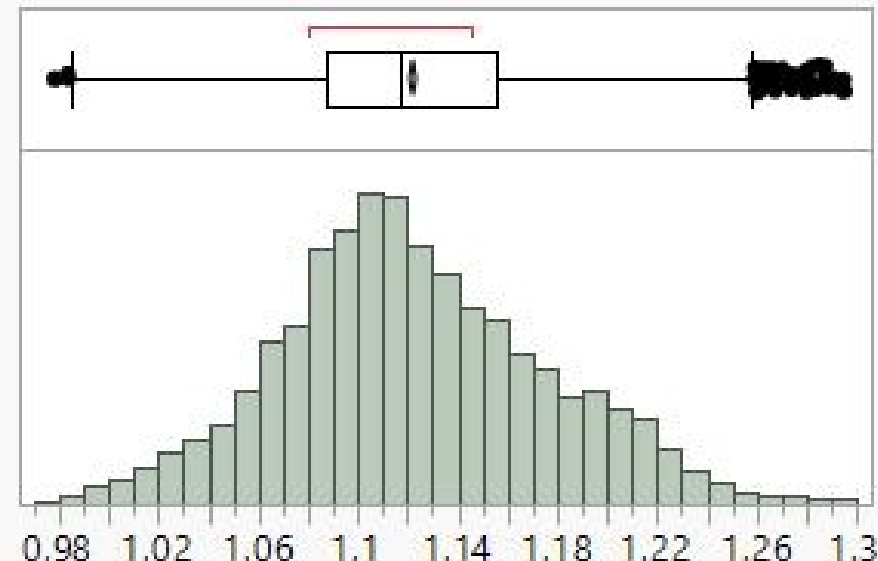


DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,50 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
31 de 41

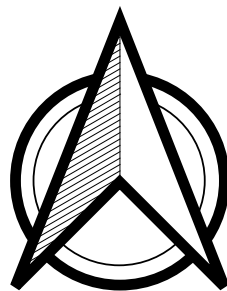
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

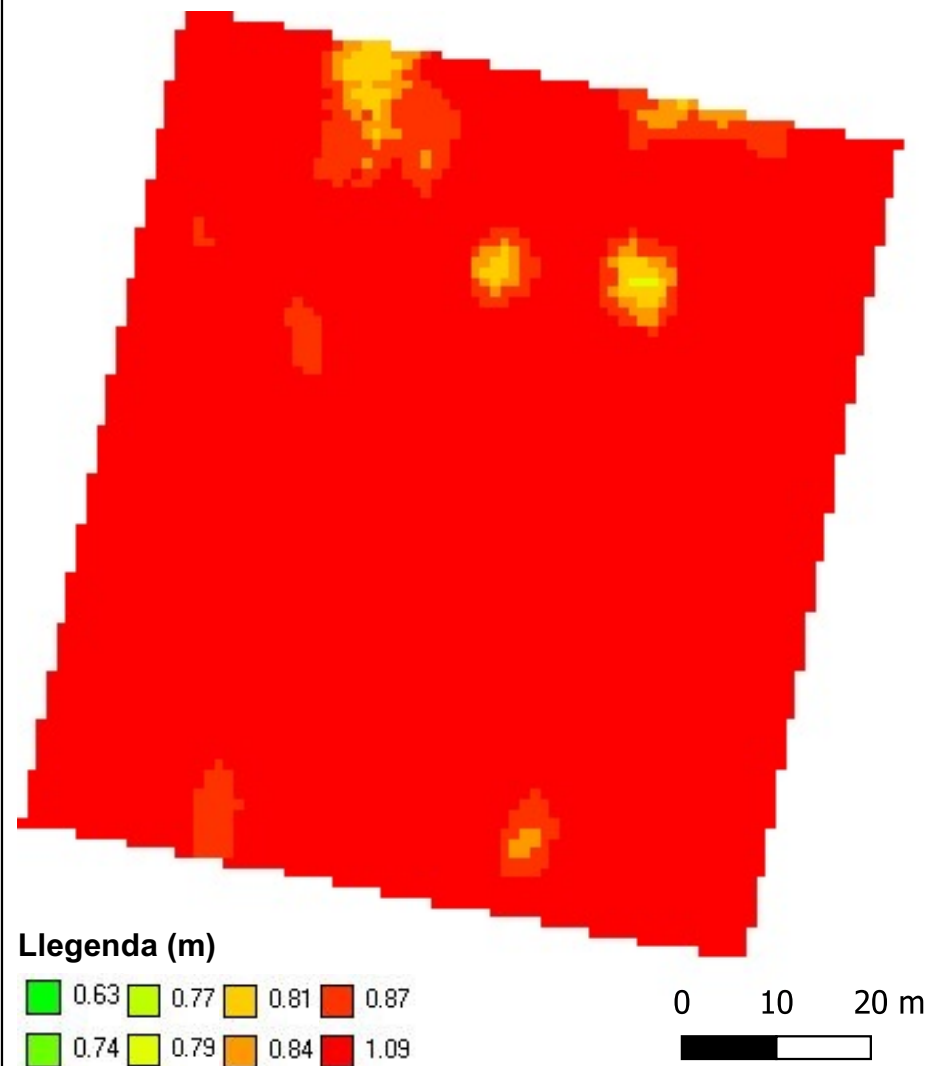
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

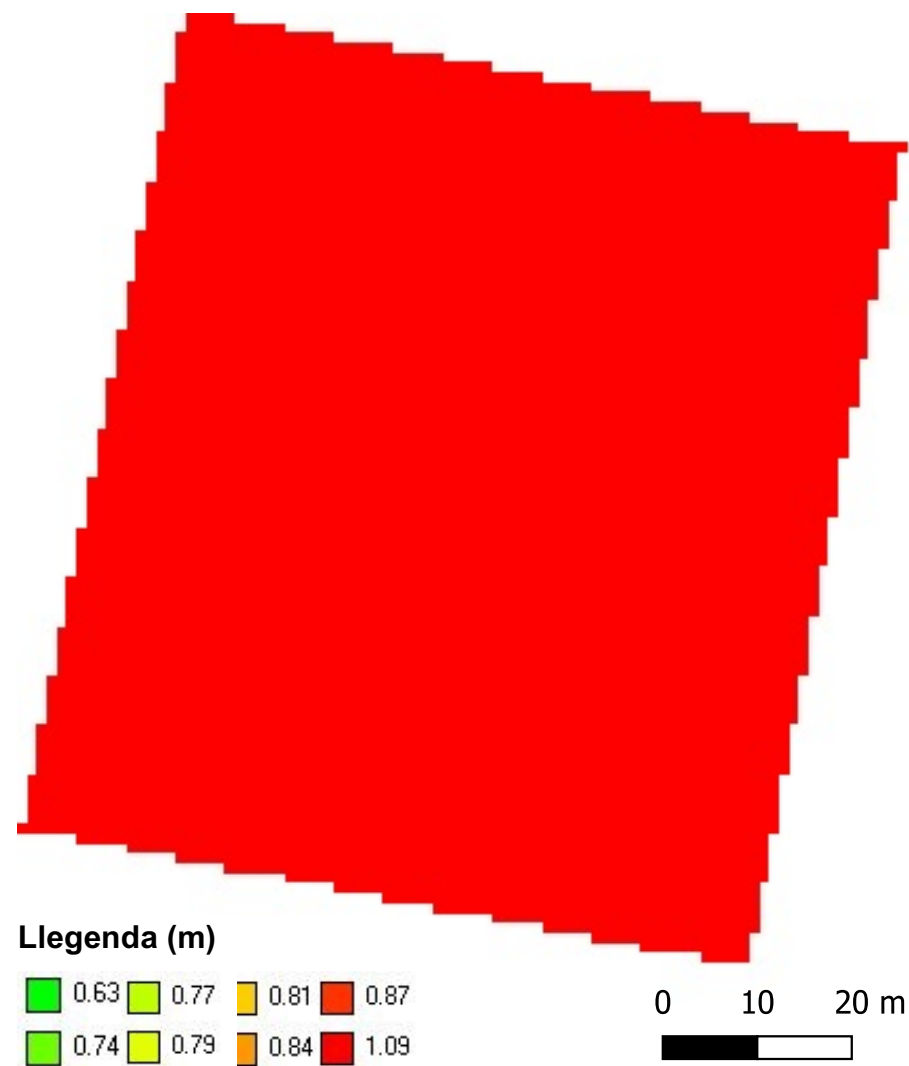
Lleida, juny 2020



Amplada. Res. 0,25 m



Amplada. Res. 0,50 m



COMPARACIÓ 0,25 m i 0,50 m

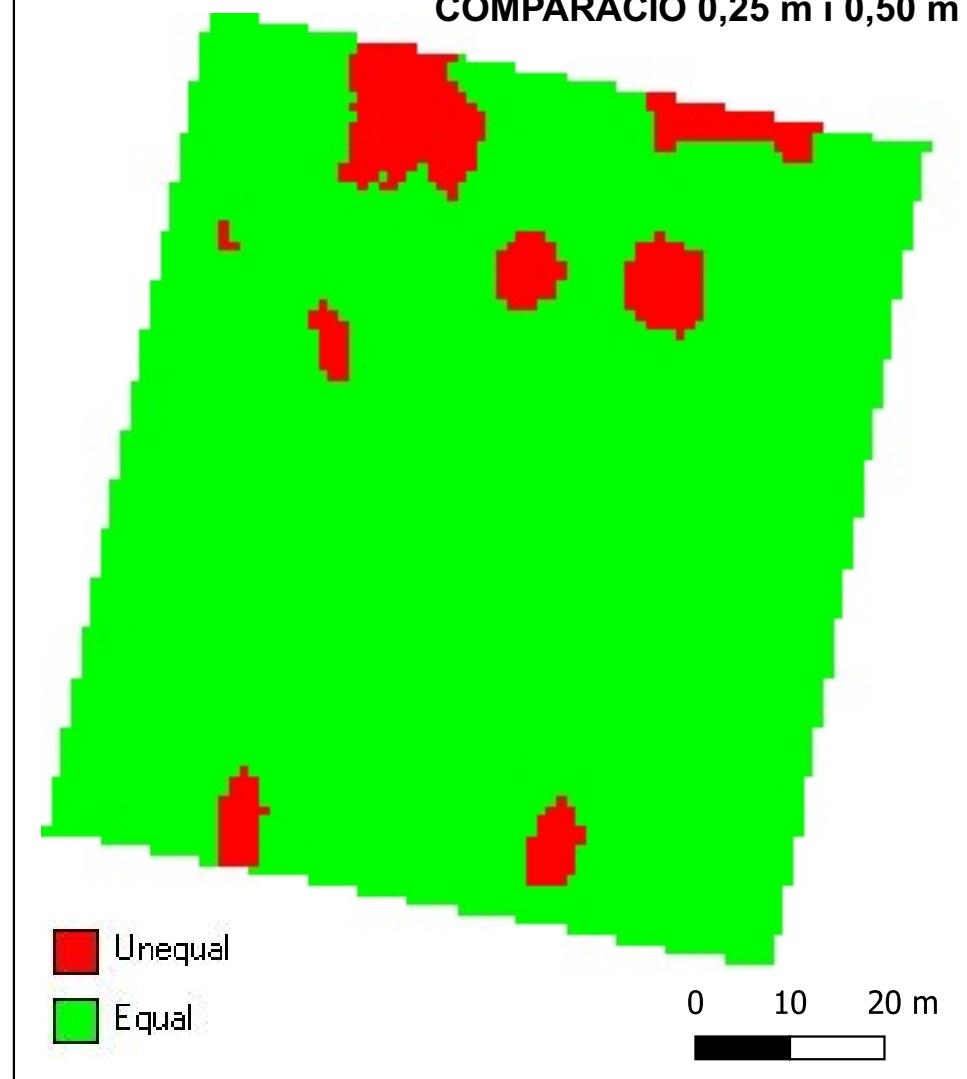


DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,25 m

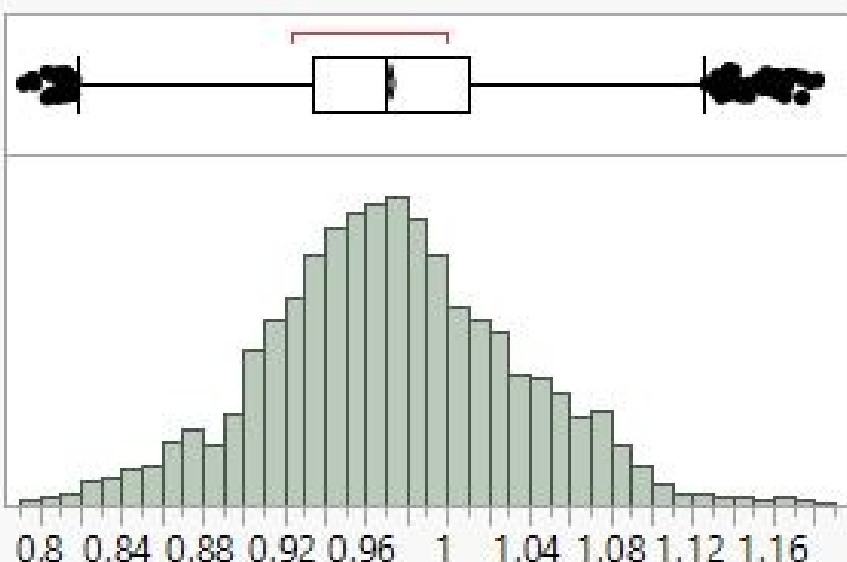
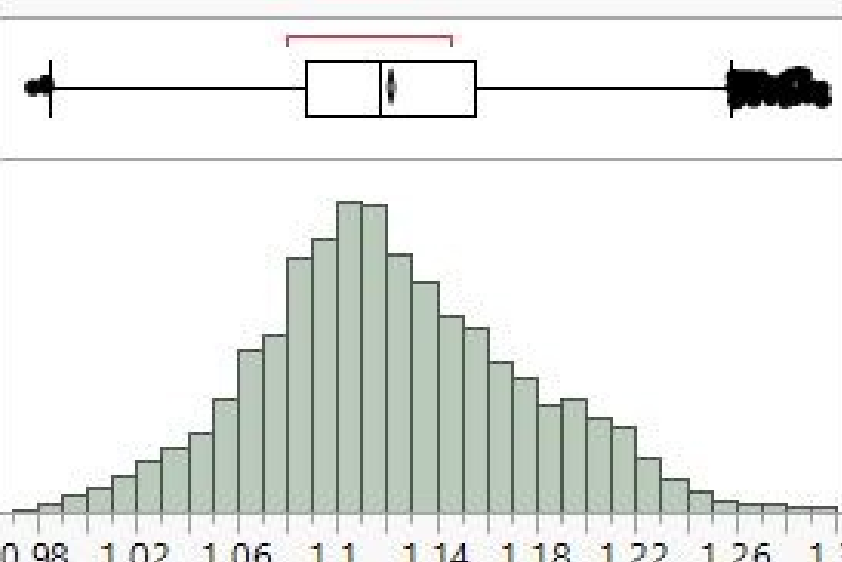


DIAGRAMA DE CAIXA (m). RESOLUCIÓ 0,50 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
32 de 41

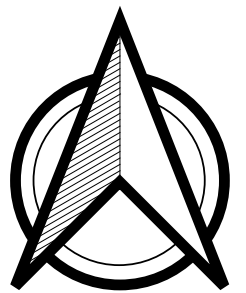
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

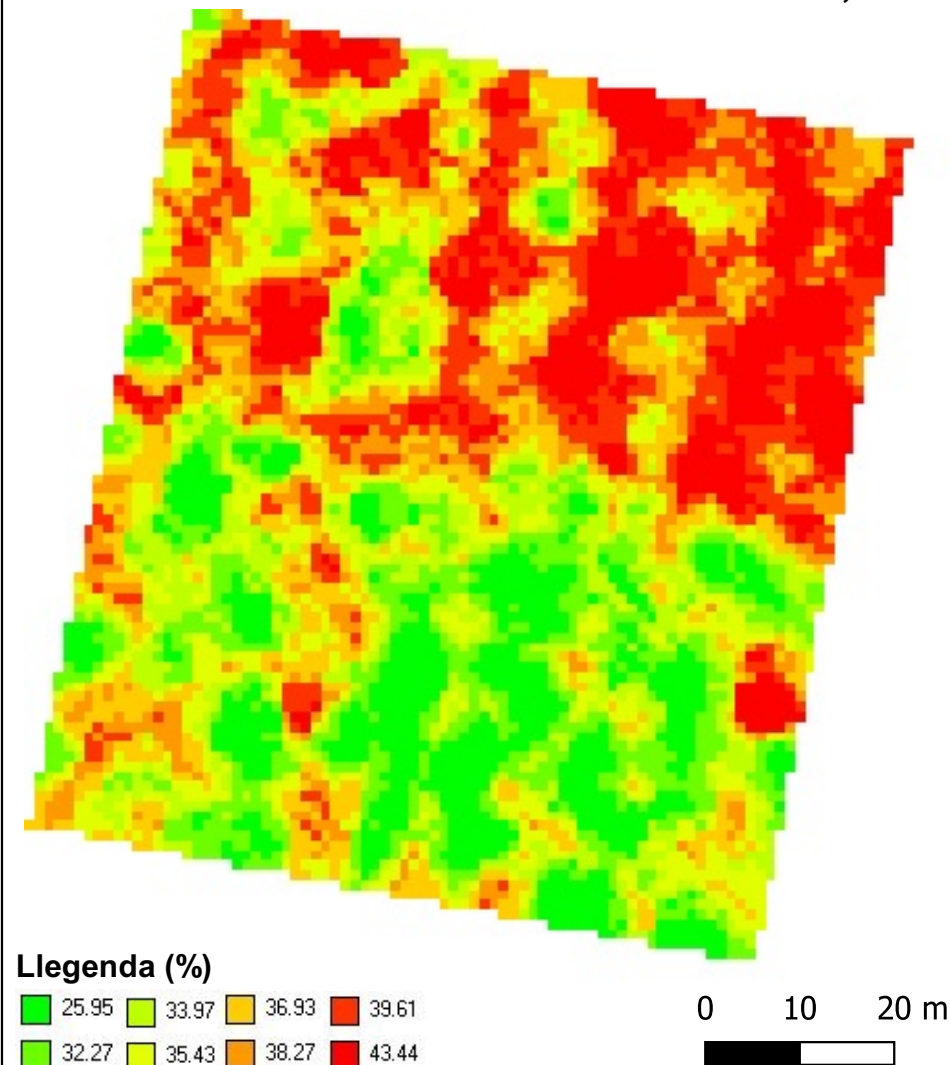
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

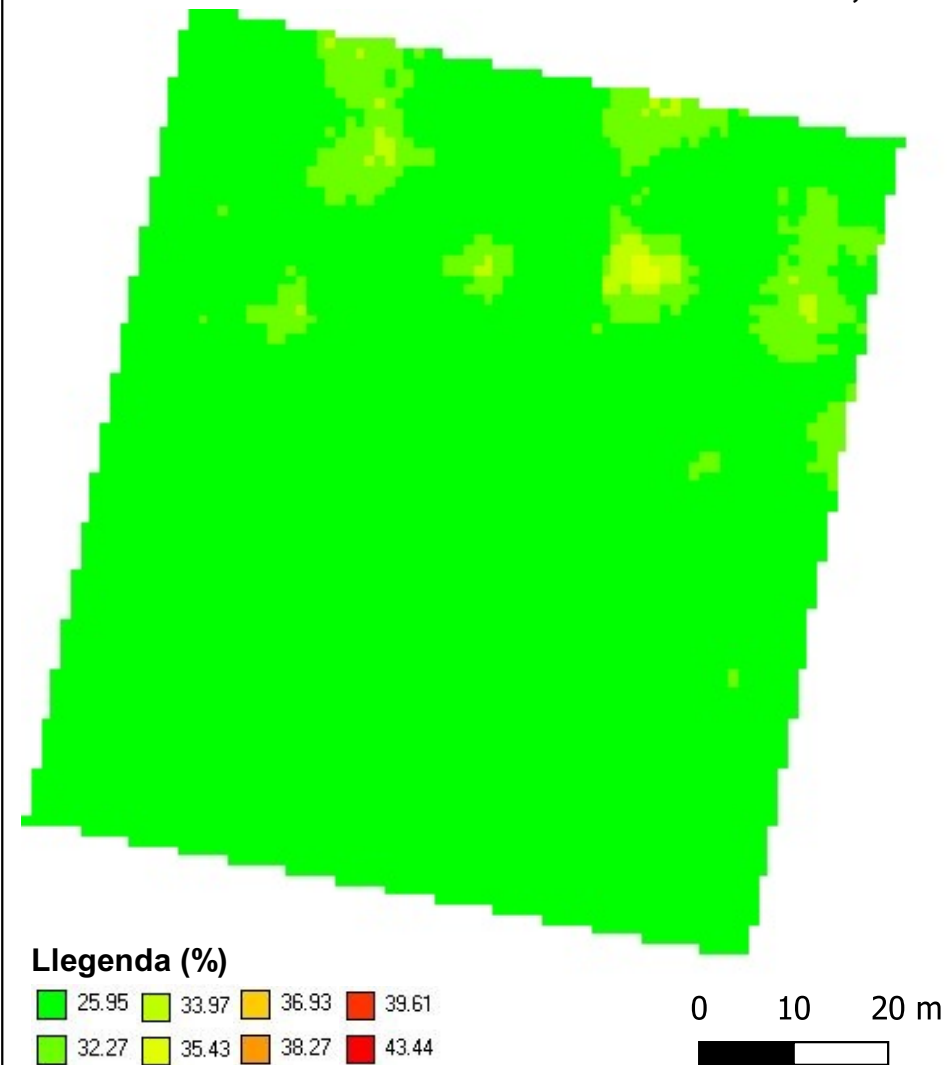
Lleida, juny 2020



Porositat dreta. Res. 0,10 m



Porositat dreta. Res. 0,25 m



COMPARACIÓ 0,10 m i 0,25 m

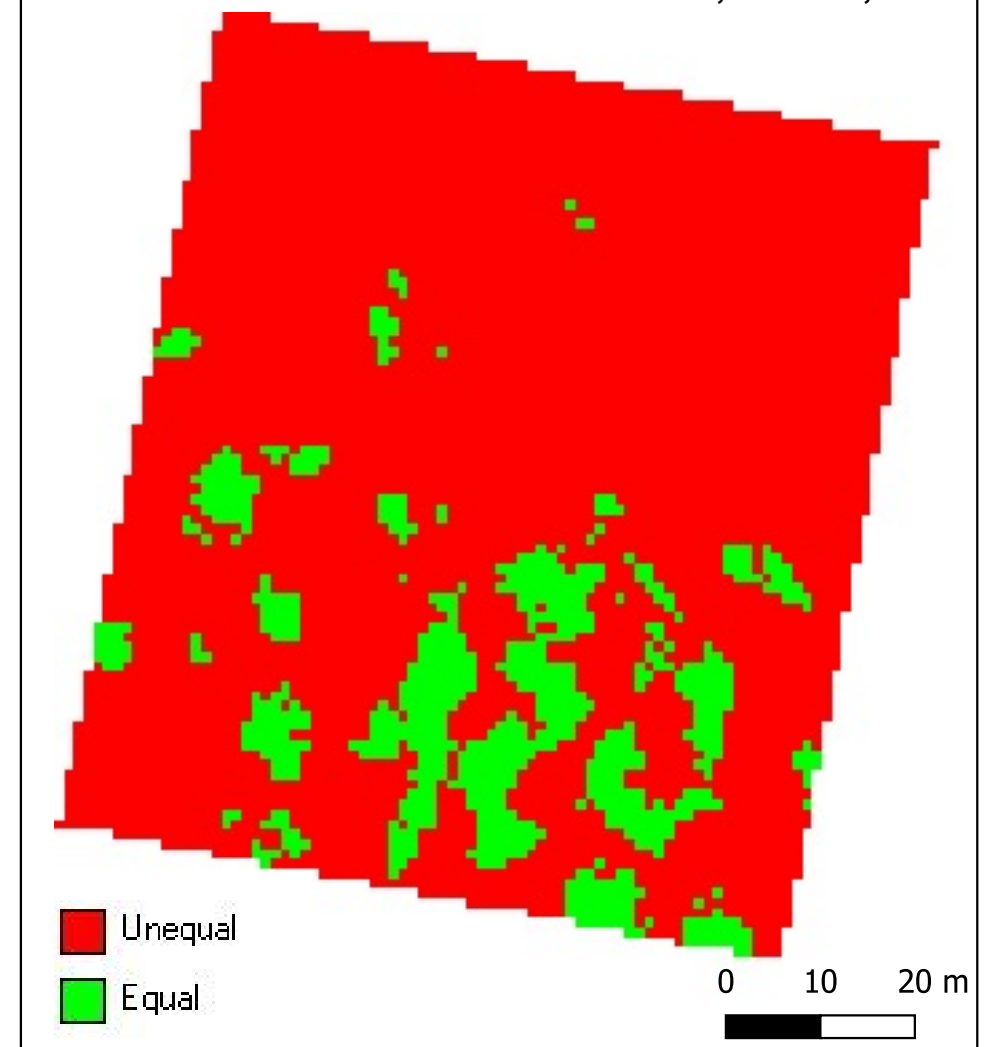


DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,10 m

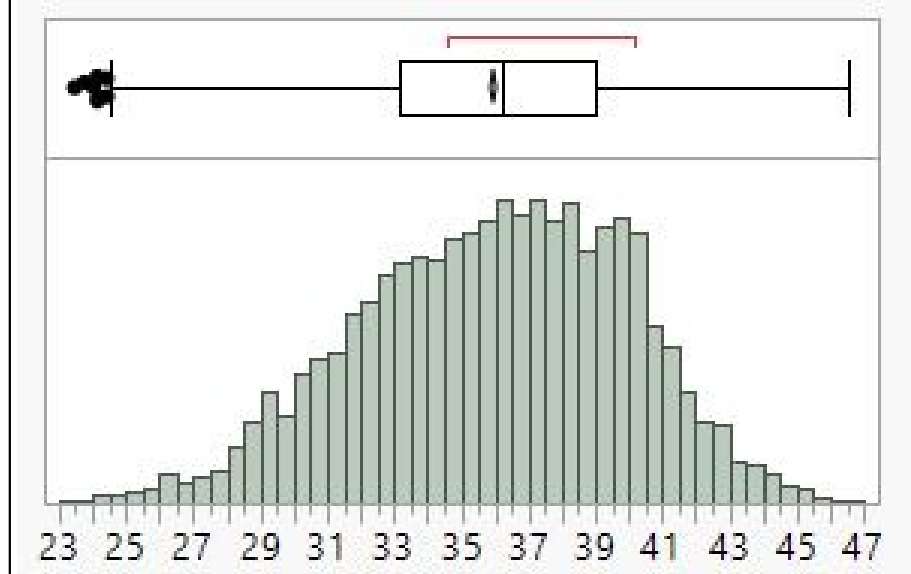
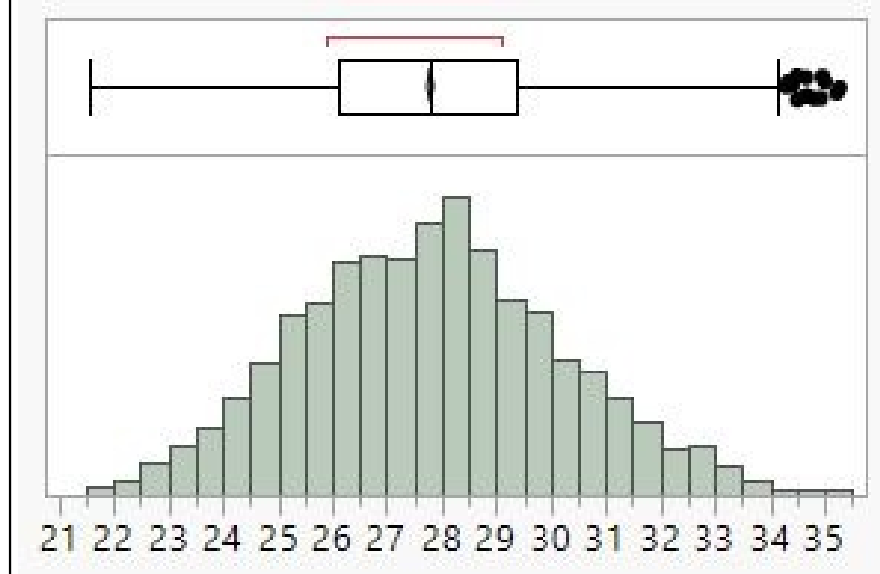


DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,25 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
33 de 41

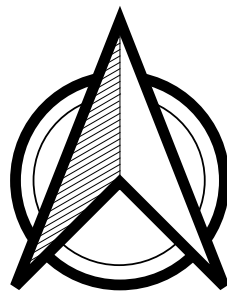
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

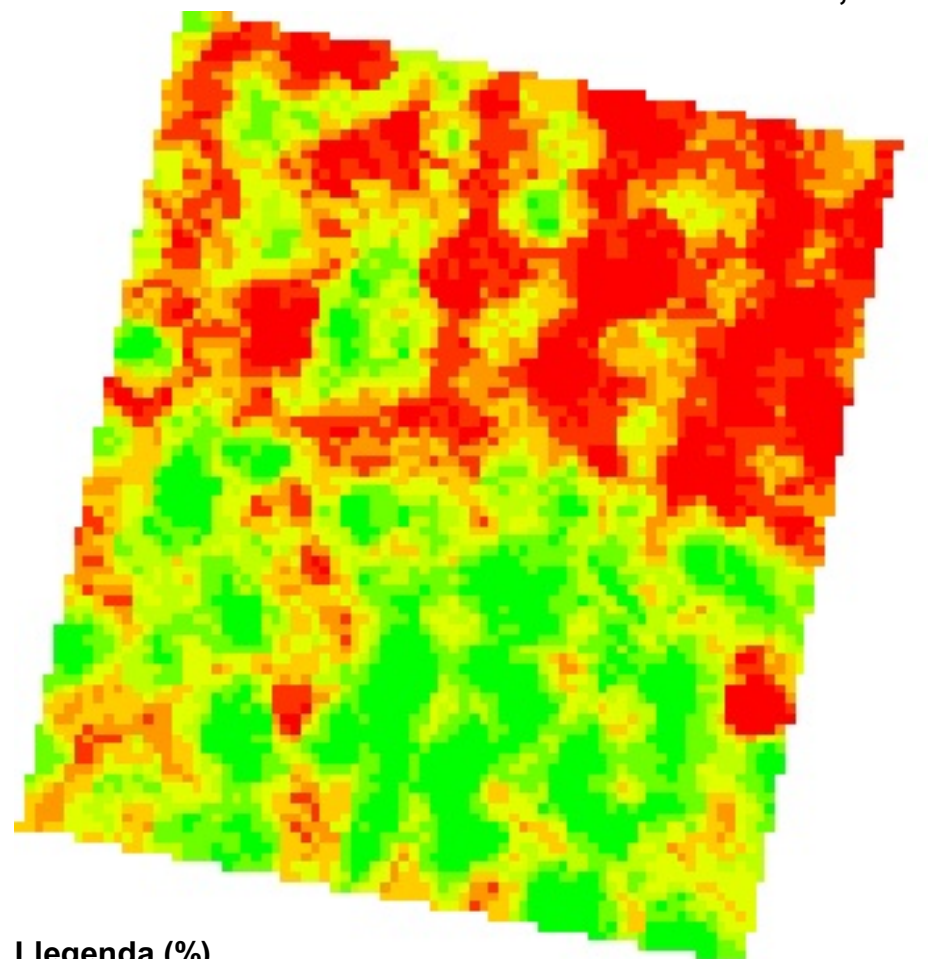
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

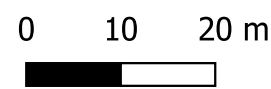
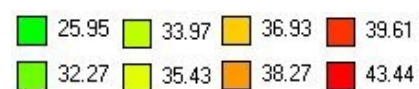
Lleida, juny 2020



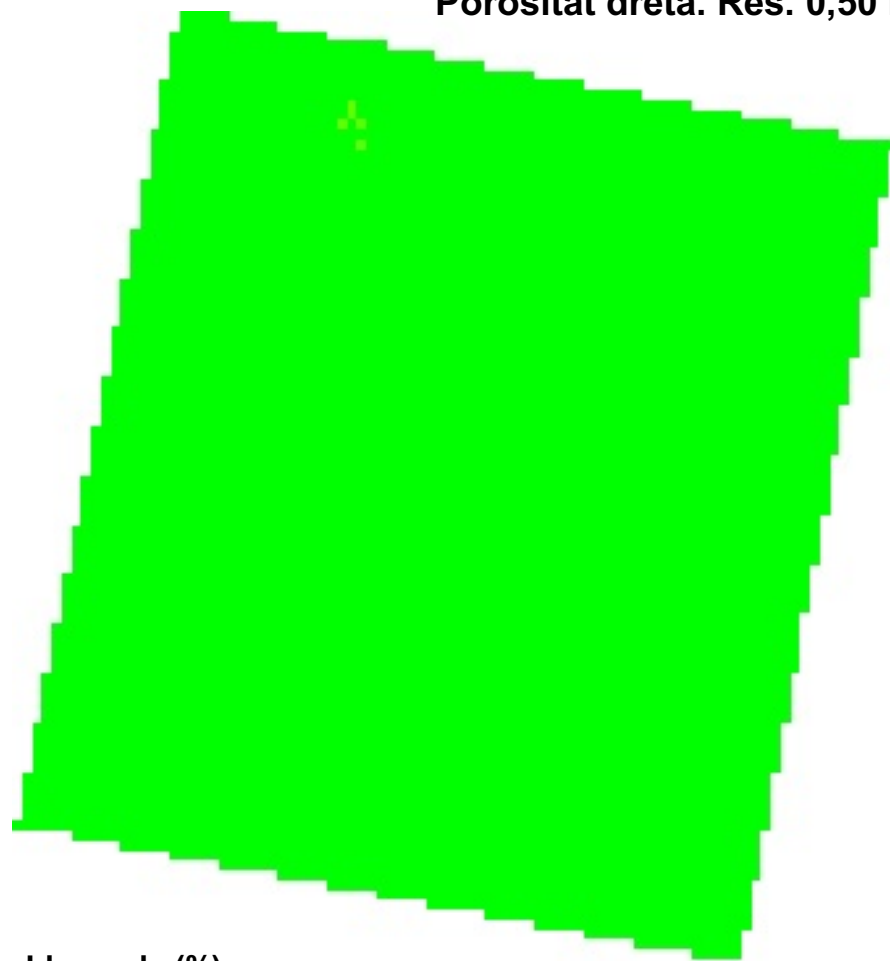
Porositat dreta. Res. 0,10 m



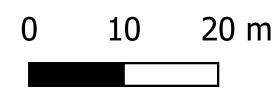
Llegenda (%)



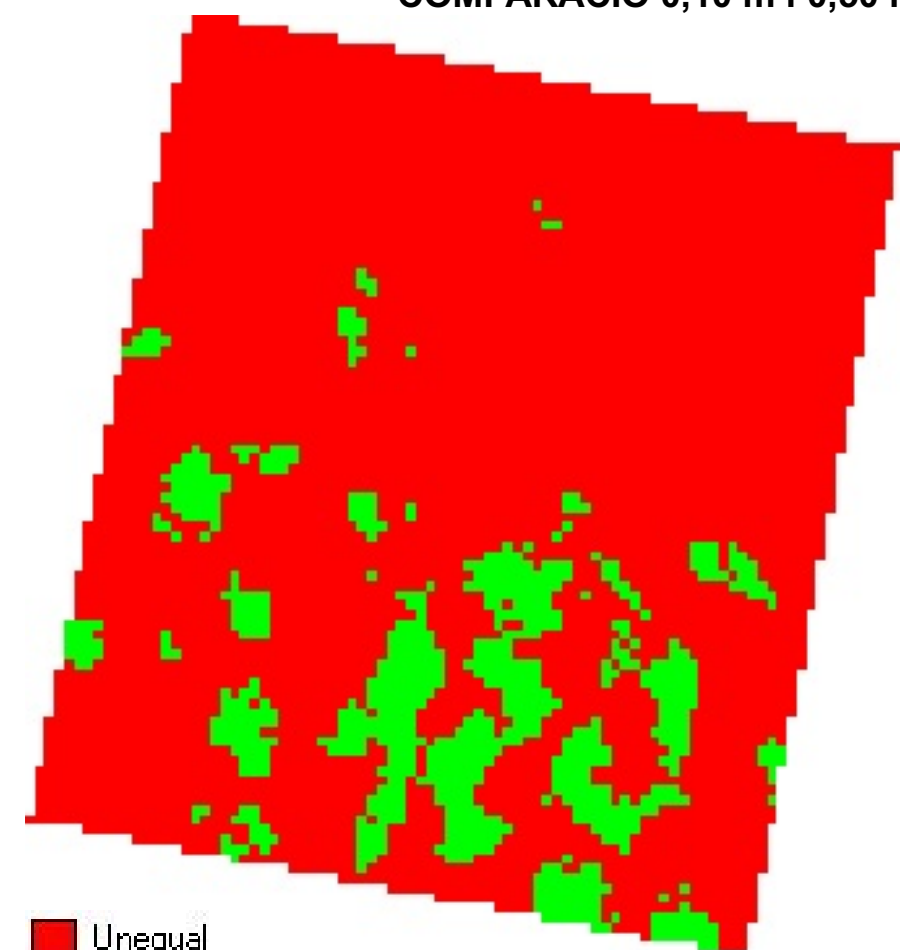
Porositat dreta. Res. 0,50 m



Llegenda (%)



COMPARACIÓ 0,10 m i 0,50 m



Unequal
Equal

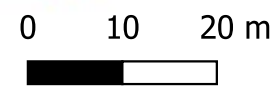


DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,10 m

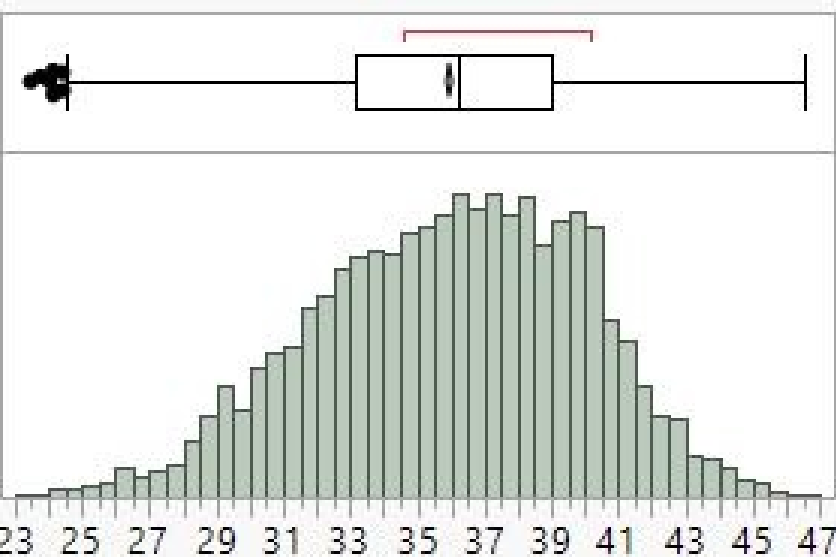
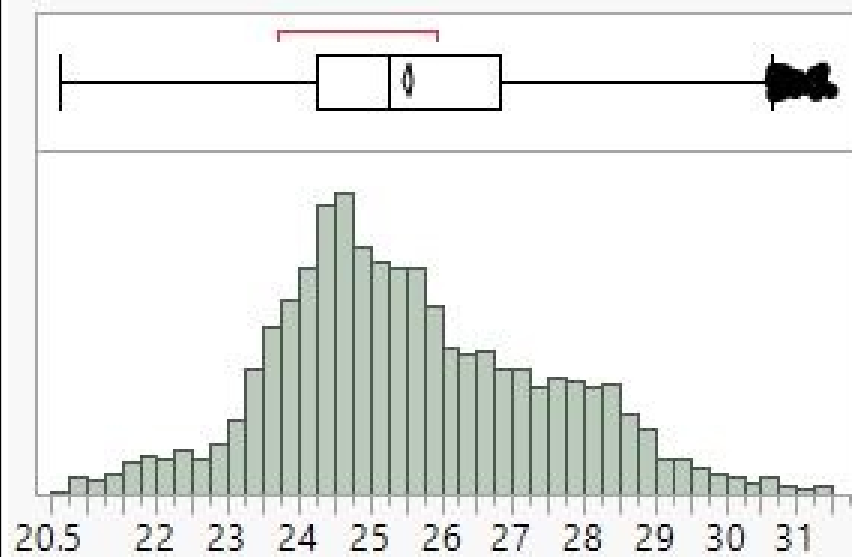


DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,50 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
34 de 41

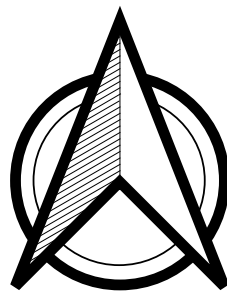
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

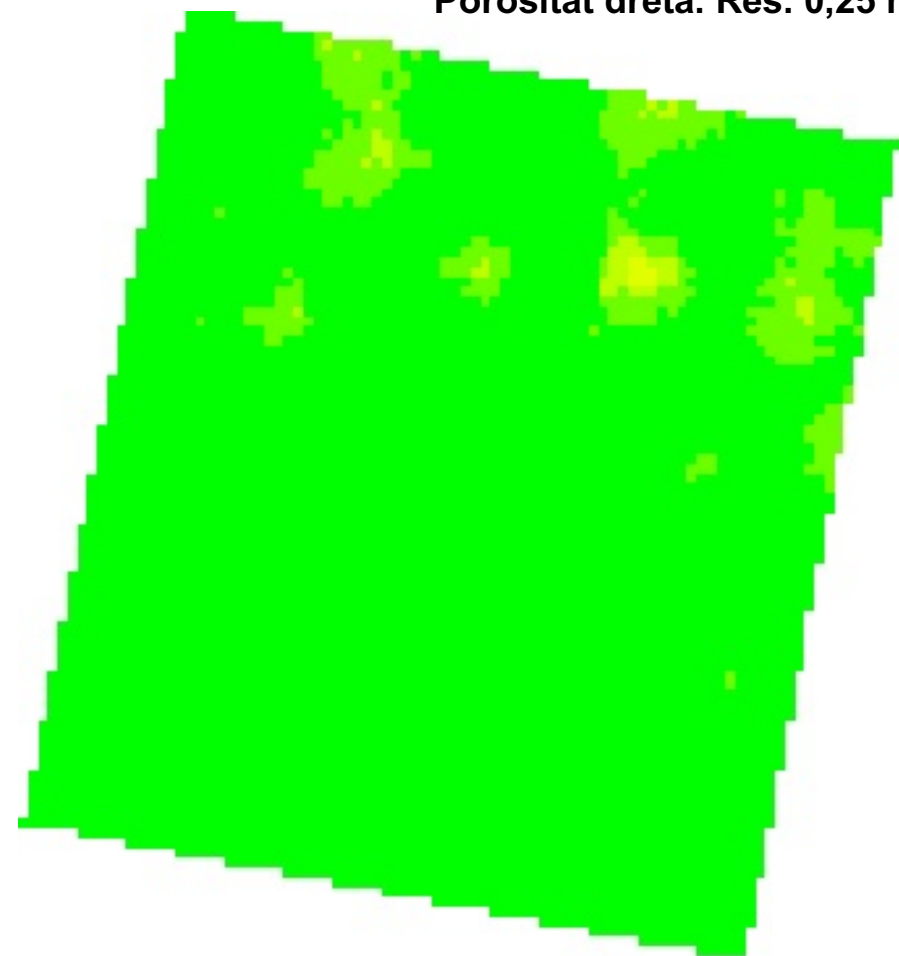
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

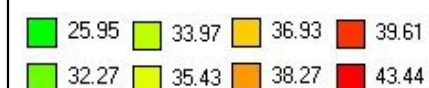
Lleida, juny 2020



Porositat dreta. Res. 0,25 m



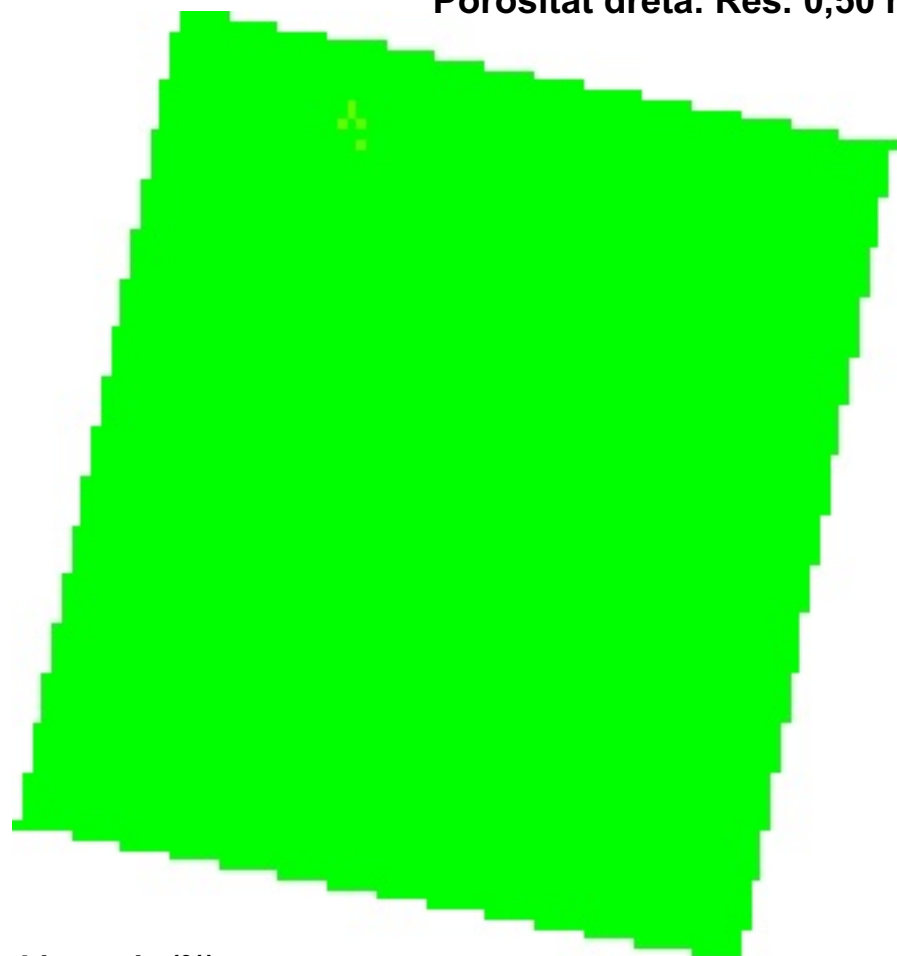
Llegenda (%)



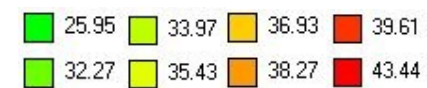
0 10 20 m



Porositat dreta. Res. 0,50 m



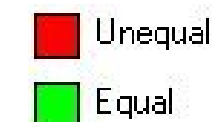
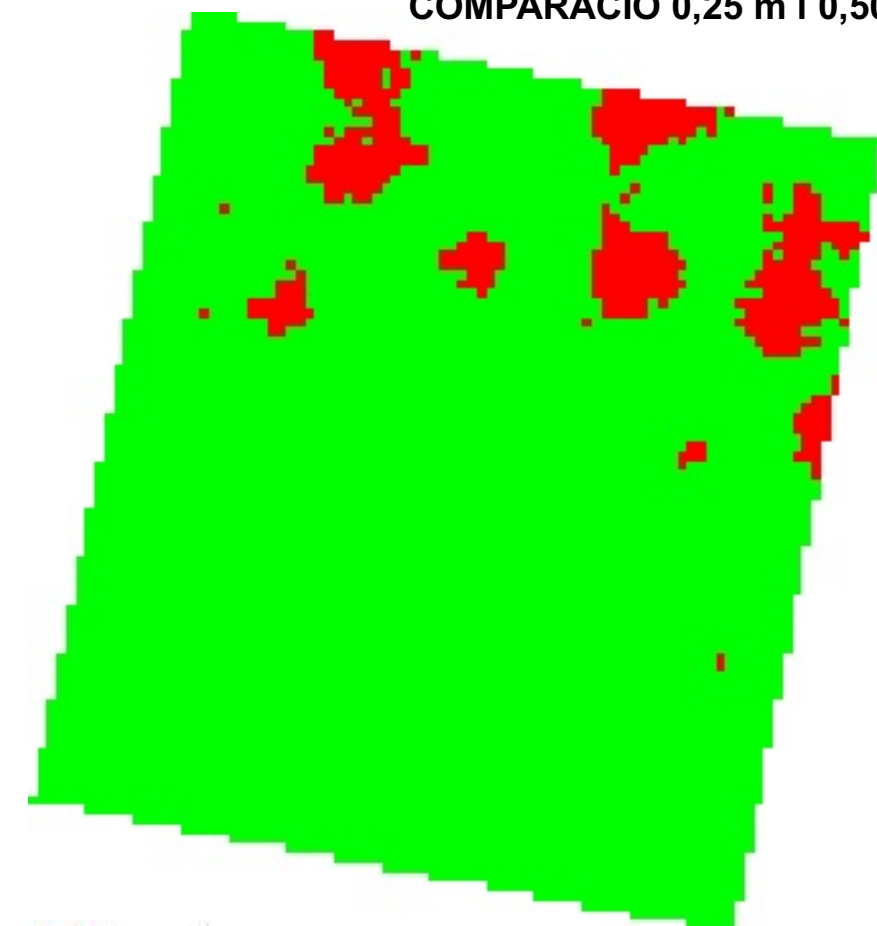
Llegenda (%)



0 10 20 m



COMPARACIÓ 0,25 m i 0,50 m



0 10 20 m



DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,25 m

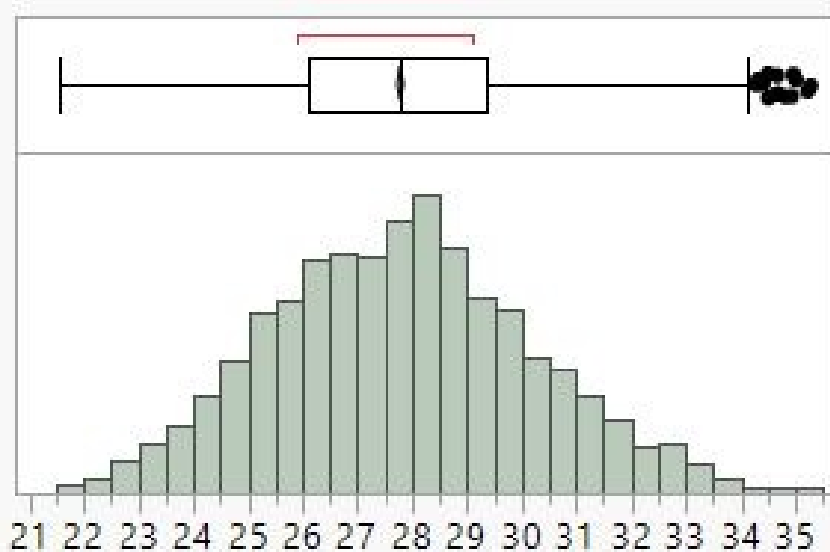
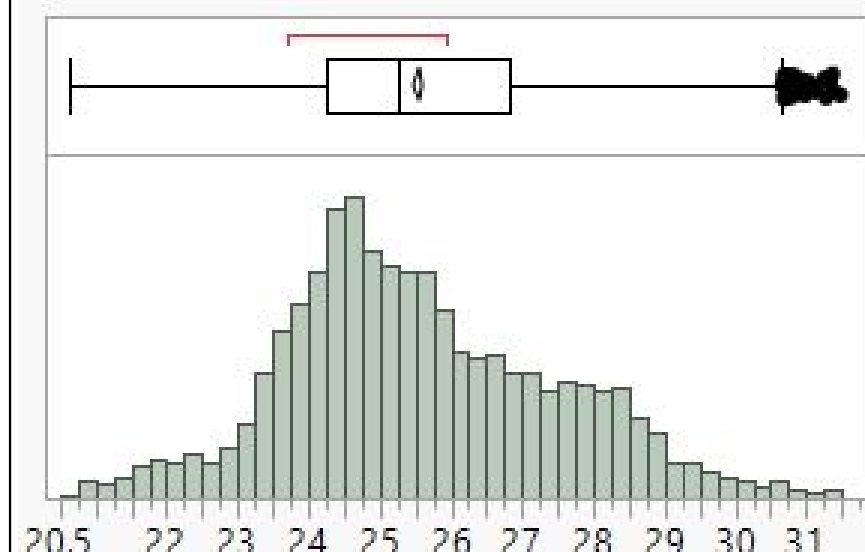


DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,50 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
35 de 41

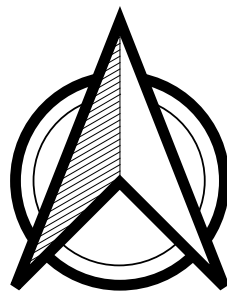
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

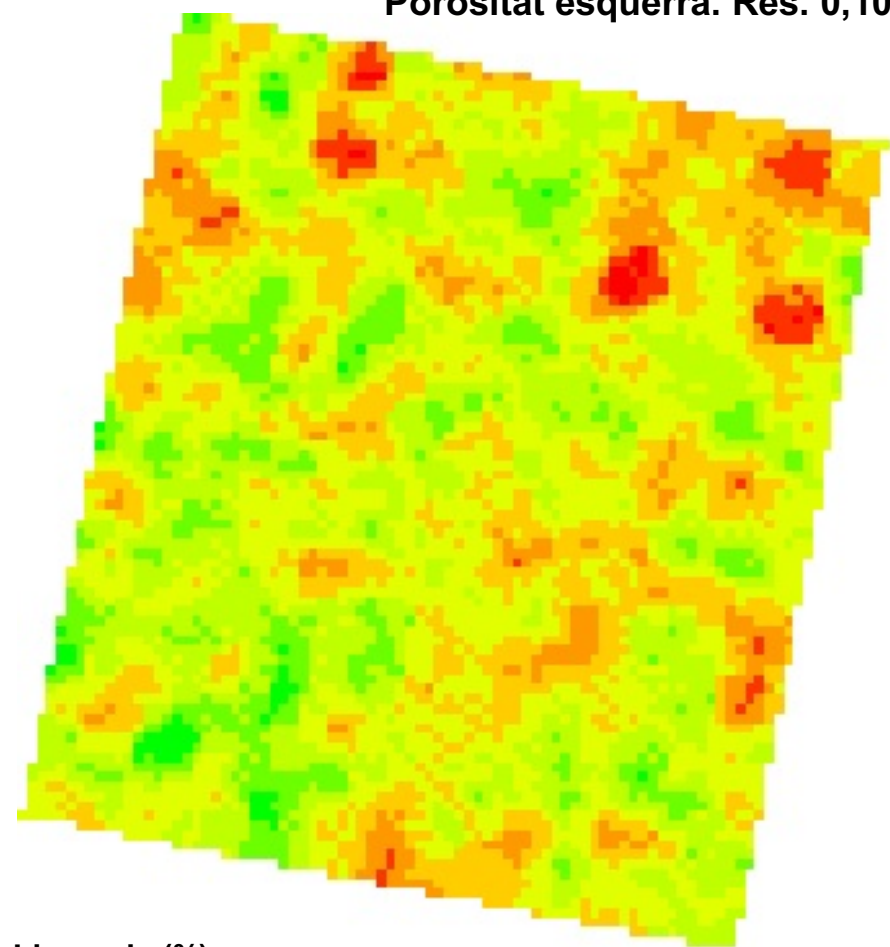
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

Lleida, juny 2020



Porositat esquerra. Res. 0,10 m



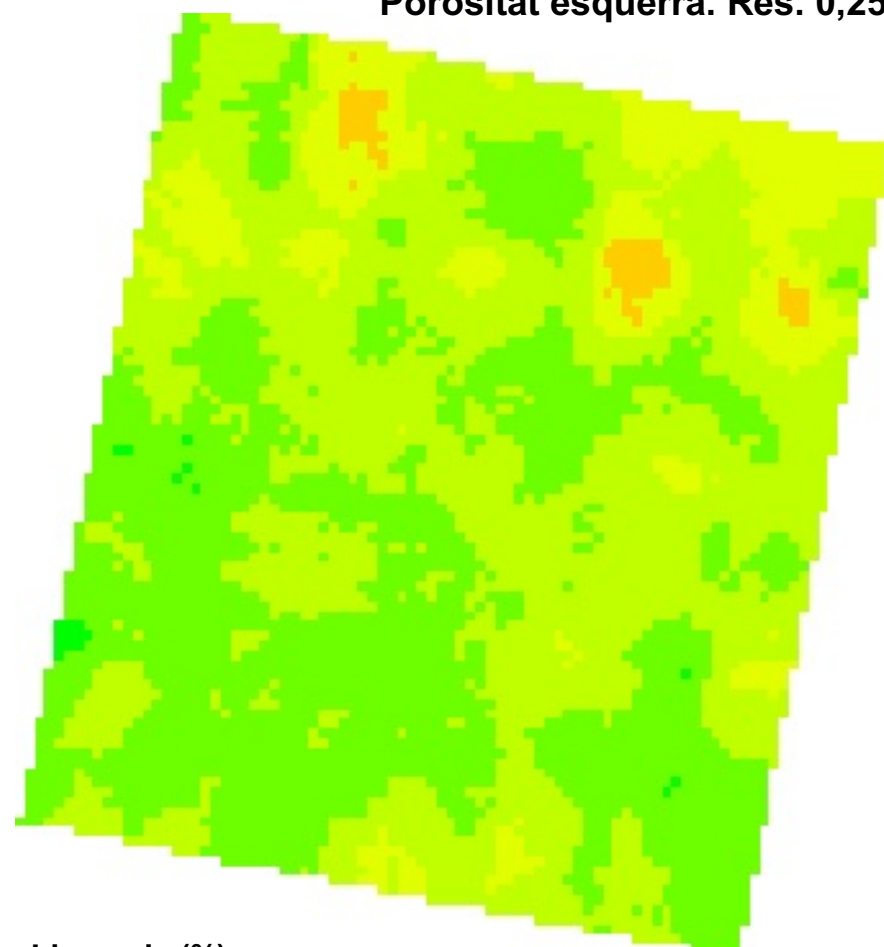
Llegenda (%)



0 10 20 m



Porositat esquerra. Res. 0,25 m



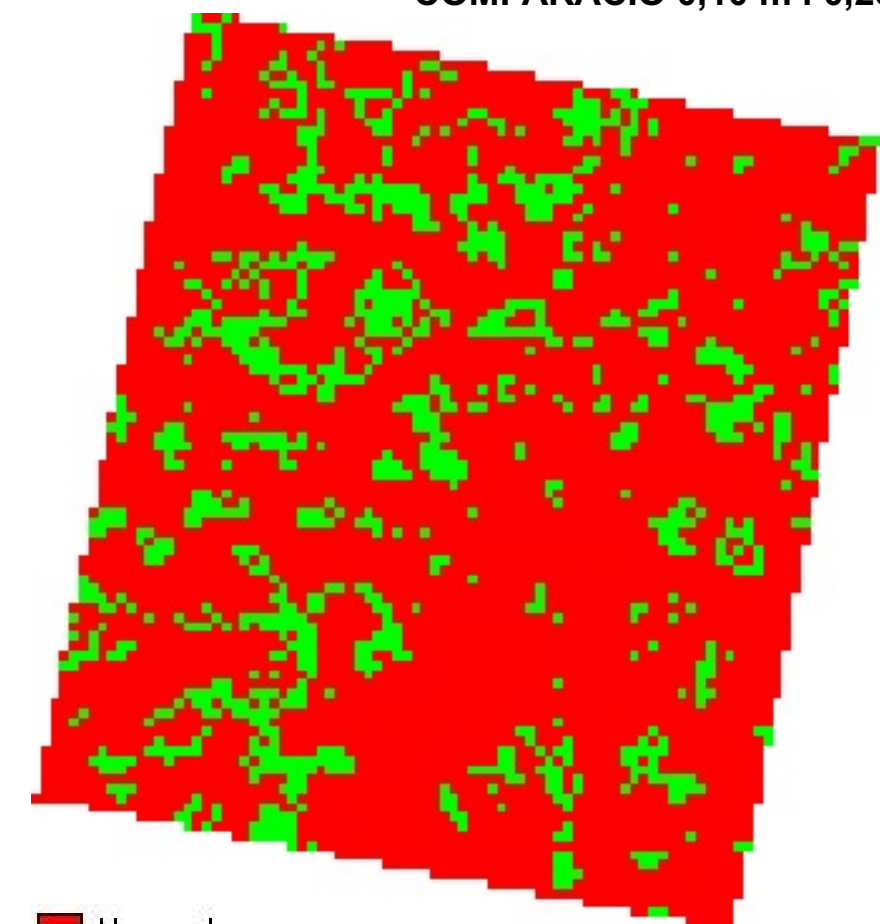
Llegenda (%)



0 10 20 m



COMPARACIÓ 0,10 m i 0,25 m



Unequal

Equal

0 10 20 m



DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,10 m

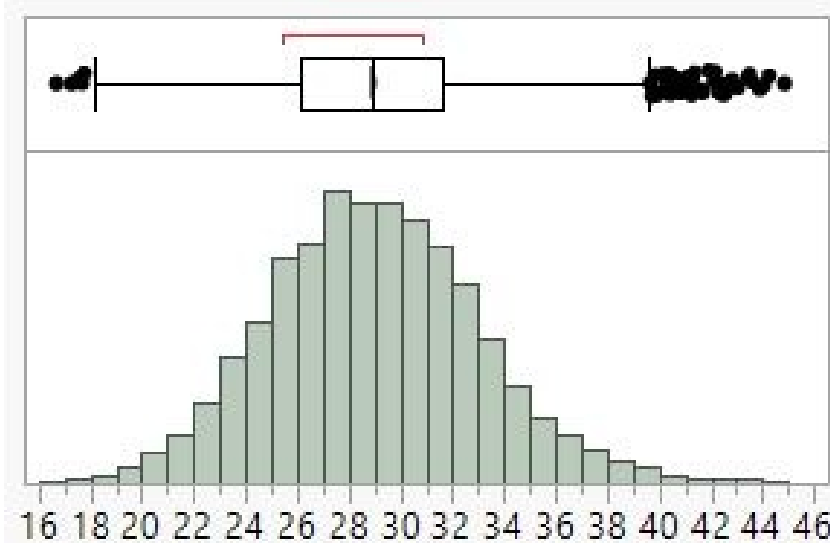
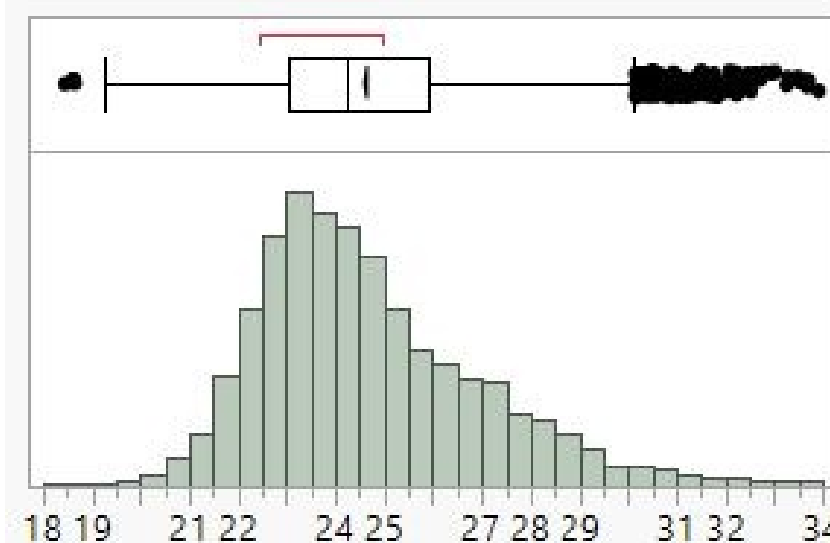


DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,25 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
36 de 41

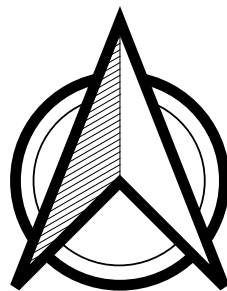
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

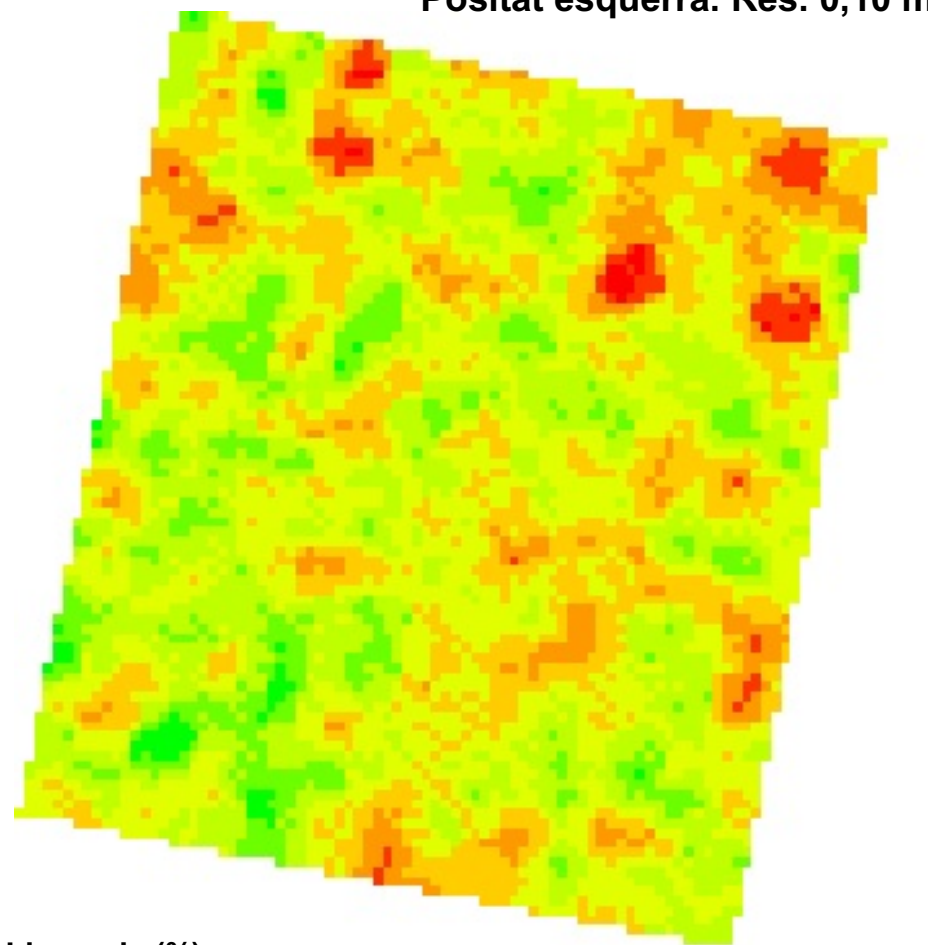
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

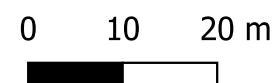
Lleida, juny 2020



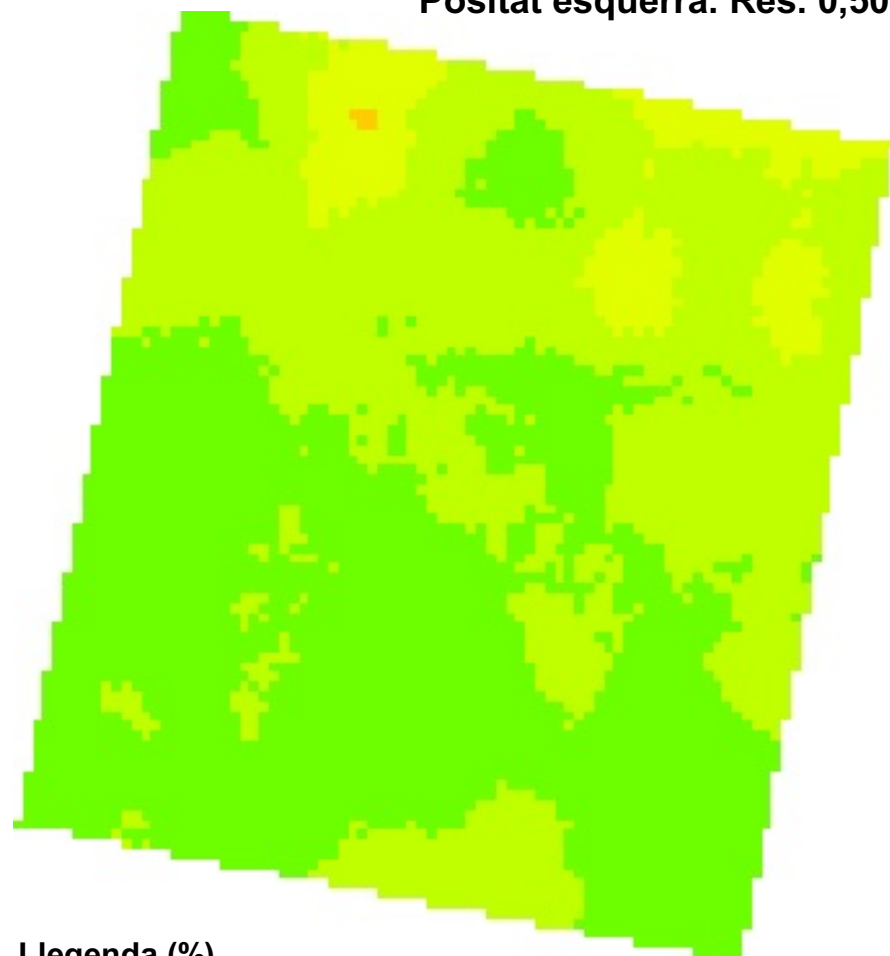
Positat esquerra. Res. 0,10 m



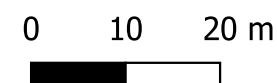
Llegenda (%)



Positat esquerra. Res. 0,50 m



Llegenda (%)



COMPARACIÓ 0,10 m i 0,50 m

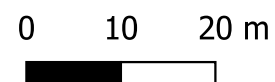
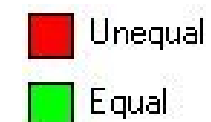
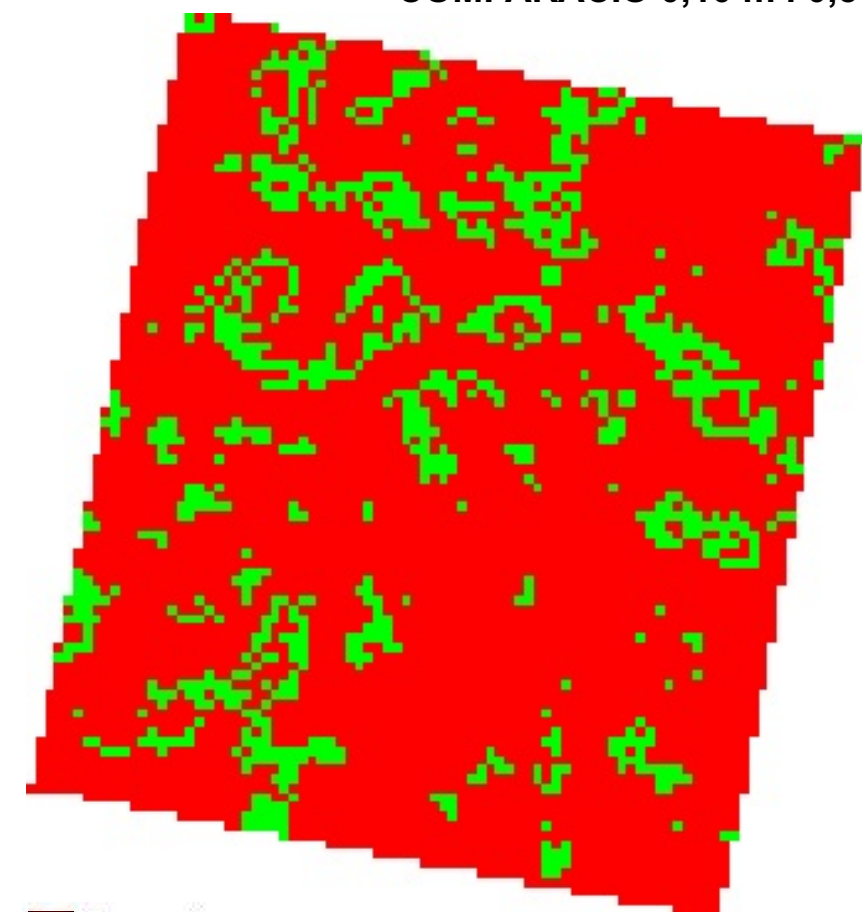


DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,10 m

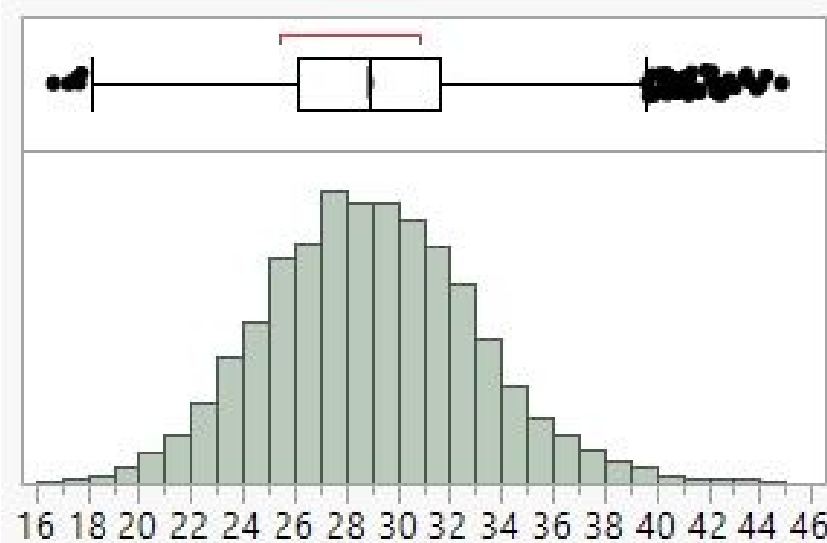
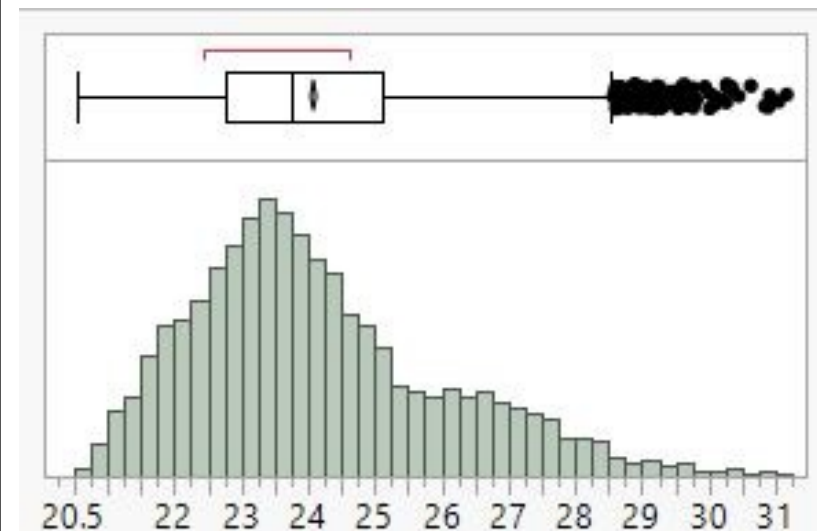


DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,50 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
37 de 41

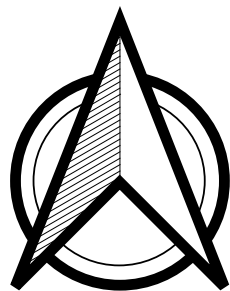
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

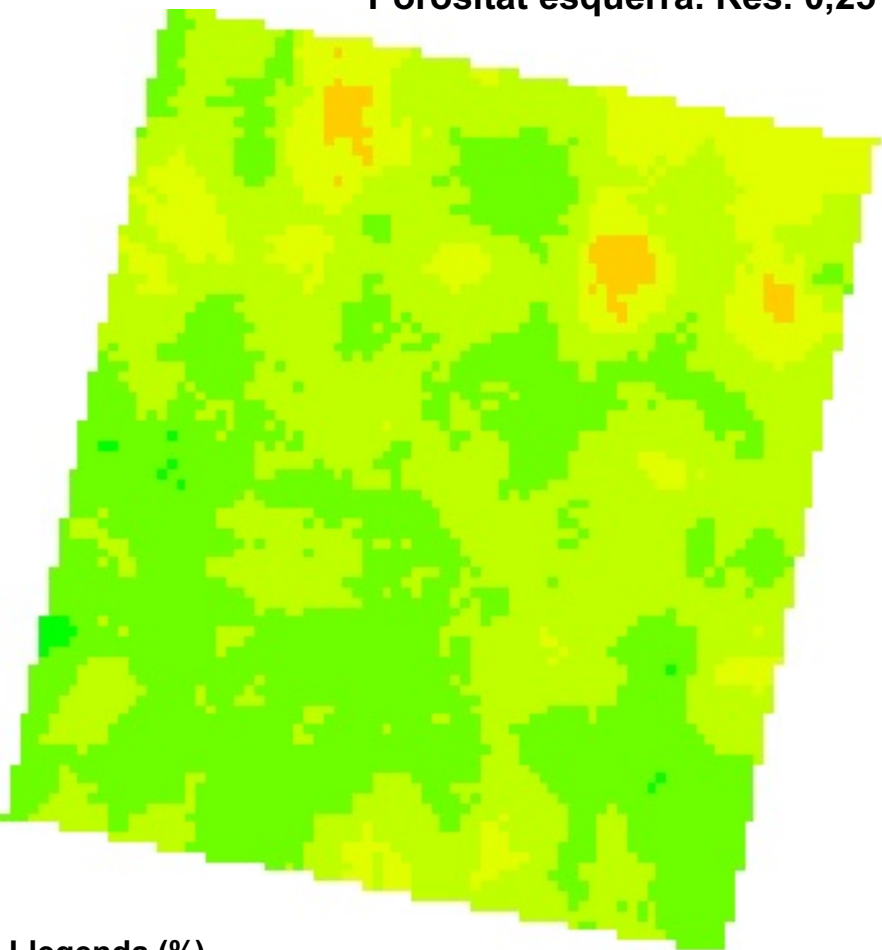
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

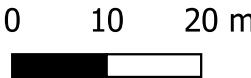
Lleida, juny 2020



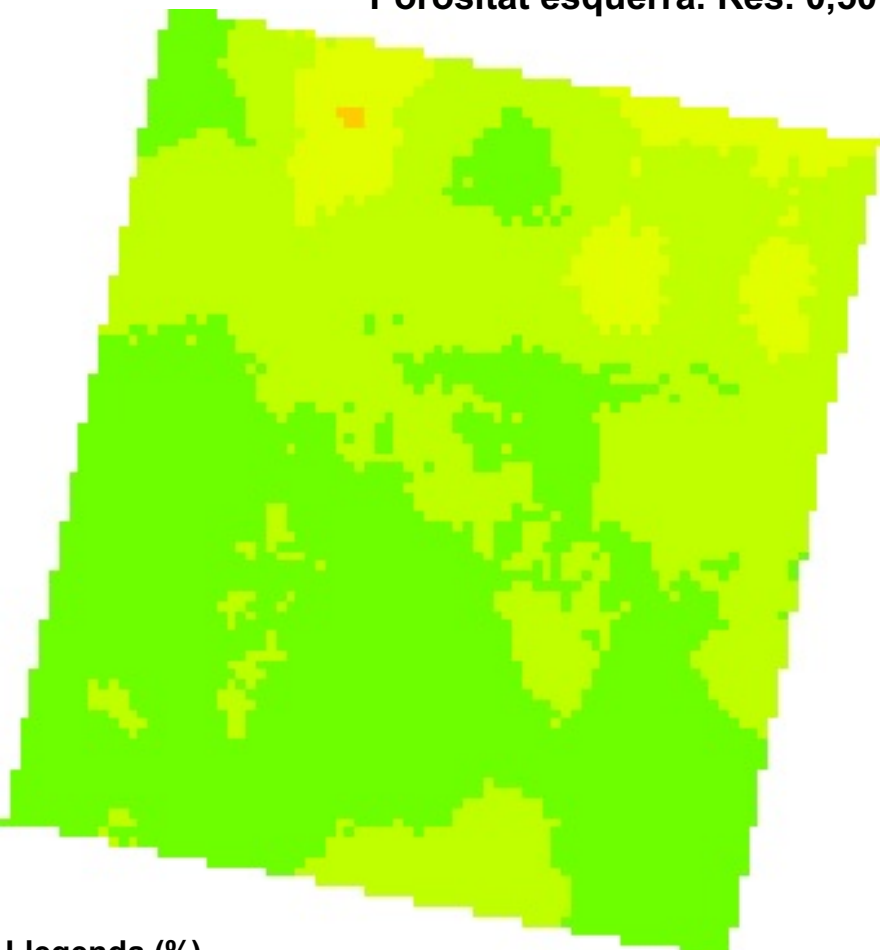
Porositat esquerra. Res. 0,25 m



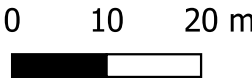
Llegenda (%)



Porositat esquerra. Res. 0,50 m



Llegenda (%)



COMPARACIÓ 0,25 m i 0,50 m

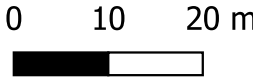
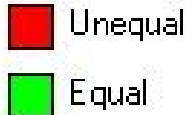
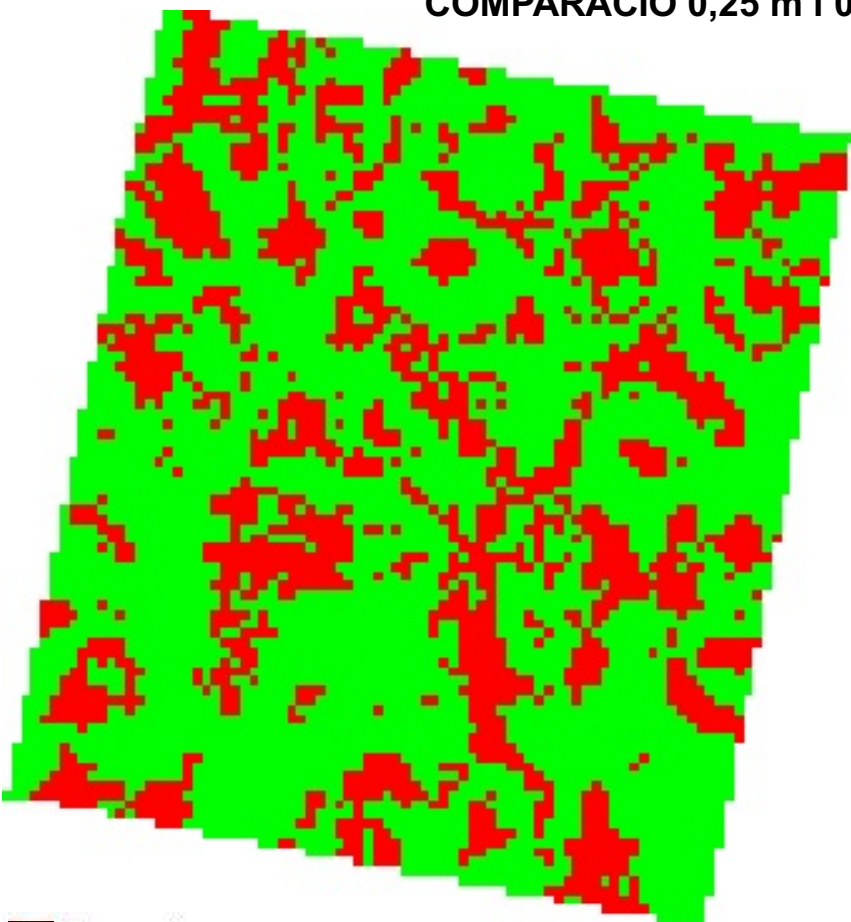


DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,25 m

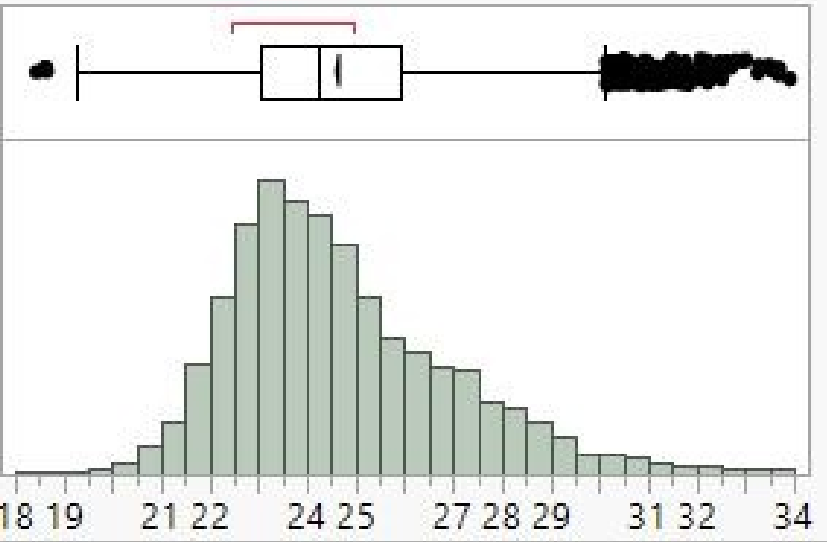
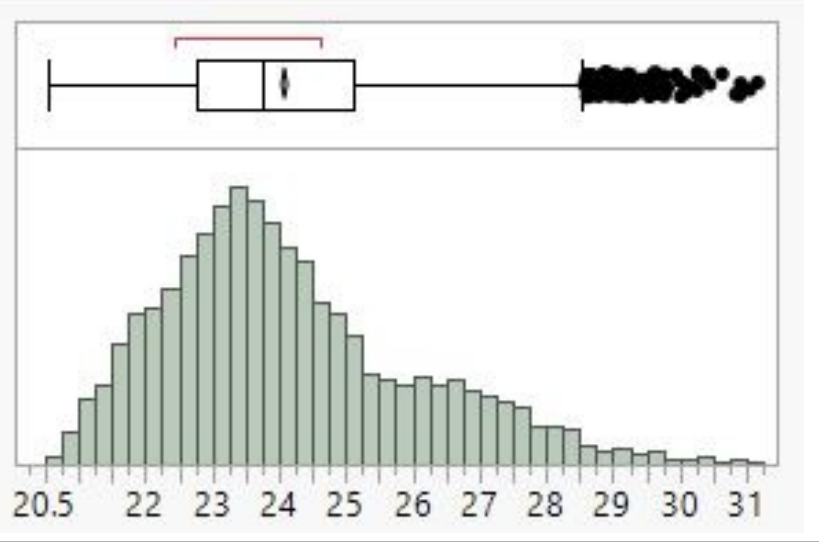


DIAGRAMA DE CAIXA (%). RESOLUCIÓ 0,50 m



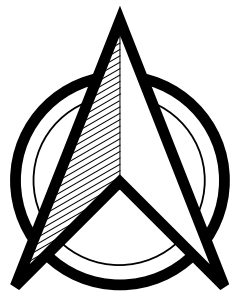
AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
38 de 41

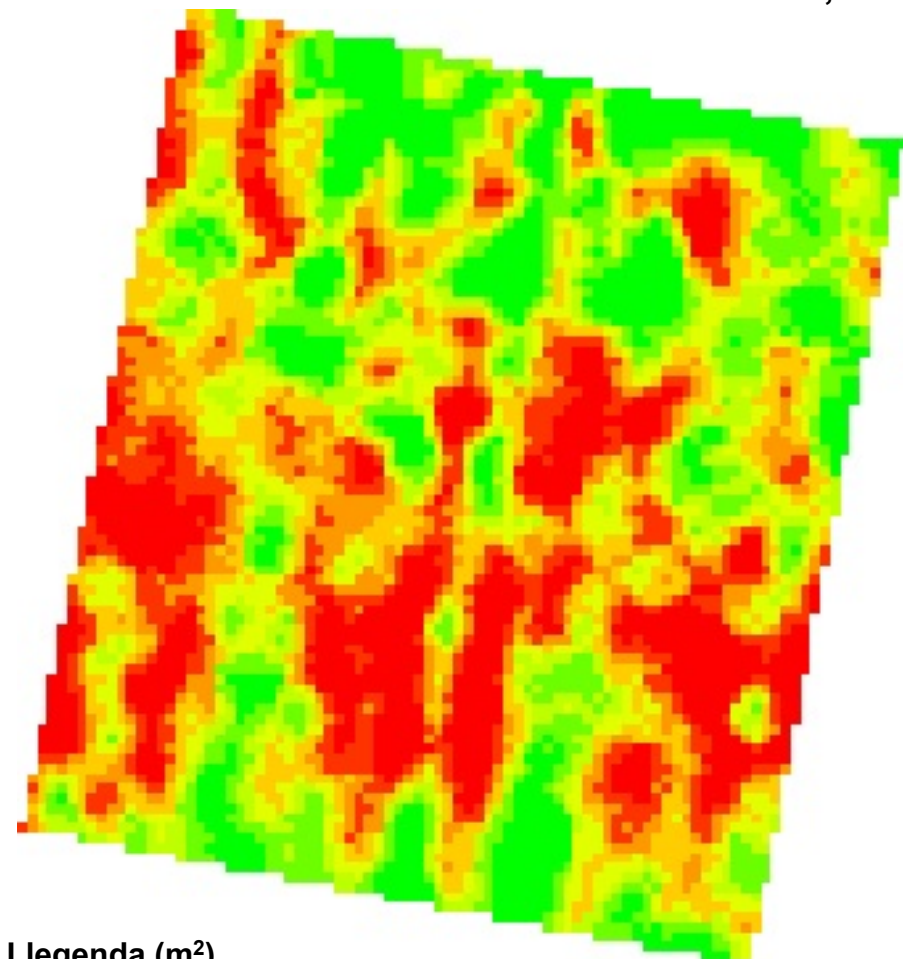
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una
plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental
de fertirrigació.

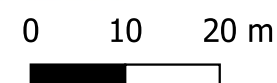
DATA:
Lleida, juny 2020



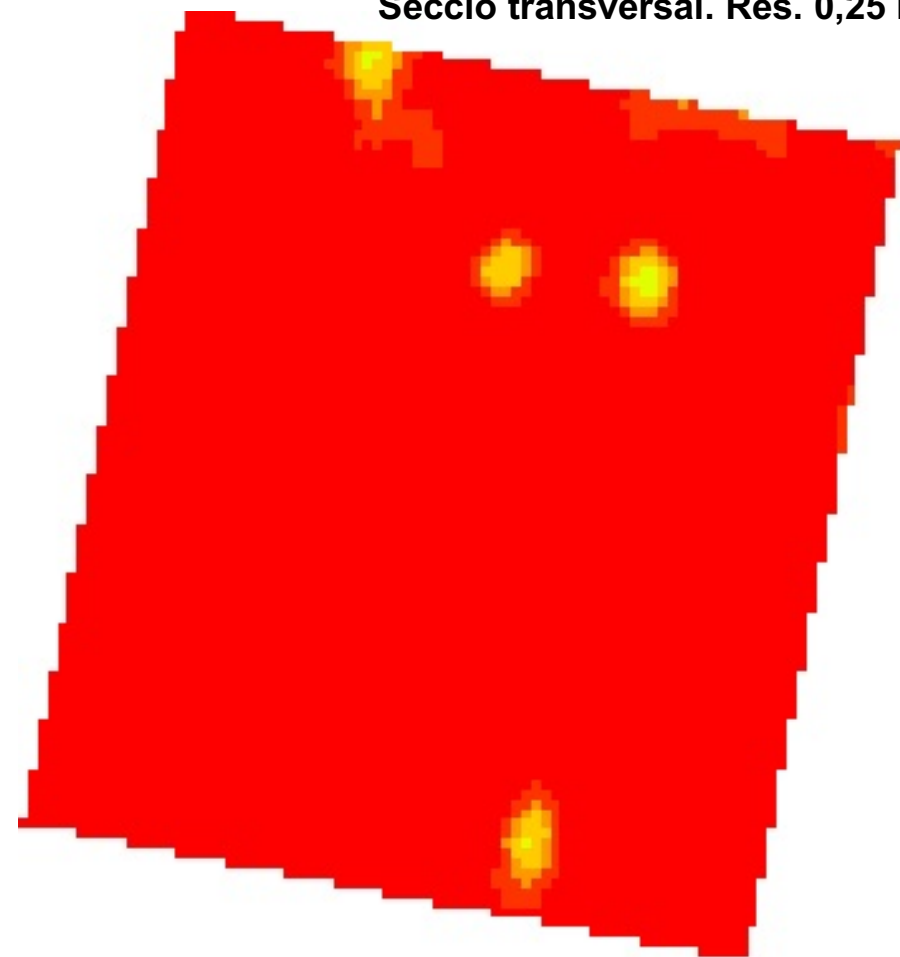
Secció transversal. Res. 0,10 m



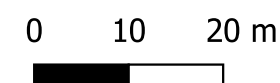
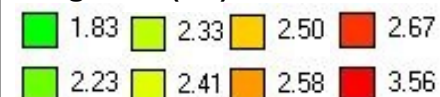
Llegenda (m²)



Secció transversal. Res. 0,25 m



Llegenda (m²)



COMPARACIÓ 0,10 m i 0,25 m

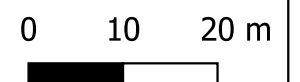
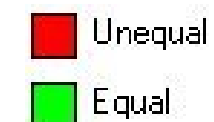
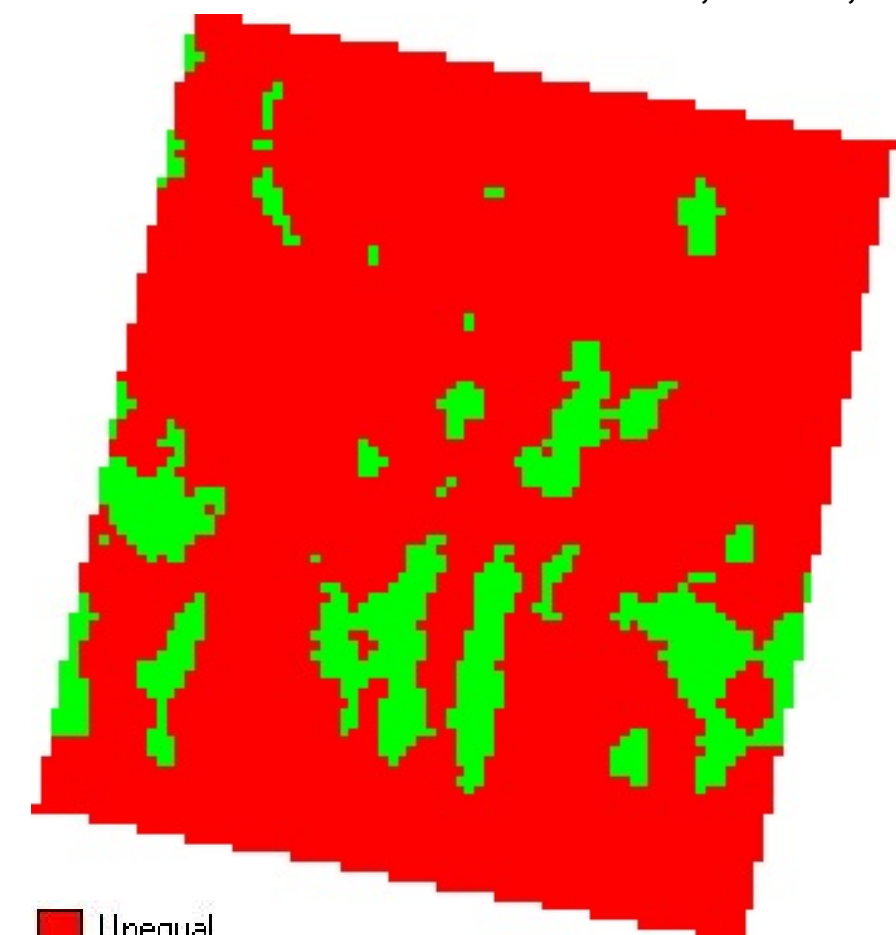


DIAGRAMA DE CAIXA (m²). RESOLUCIÓ 0,10 m

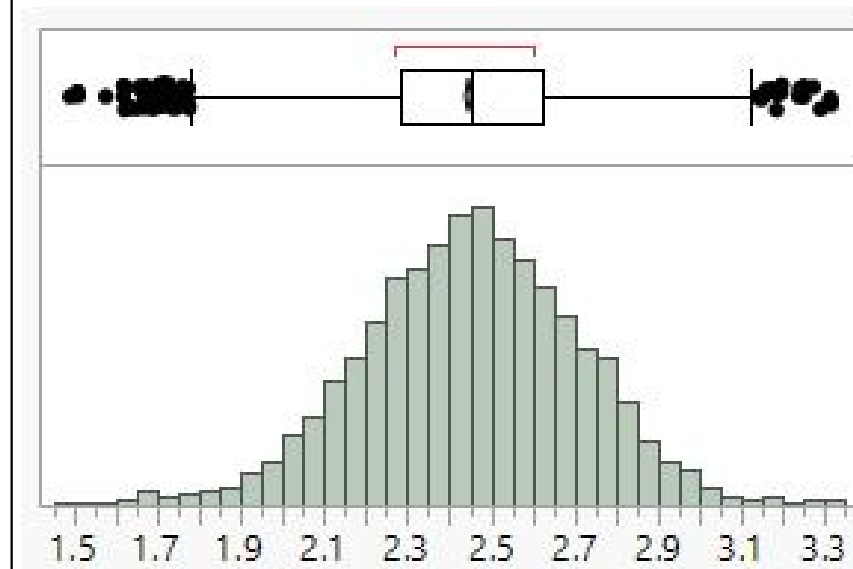
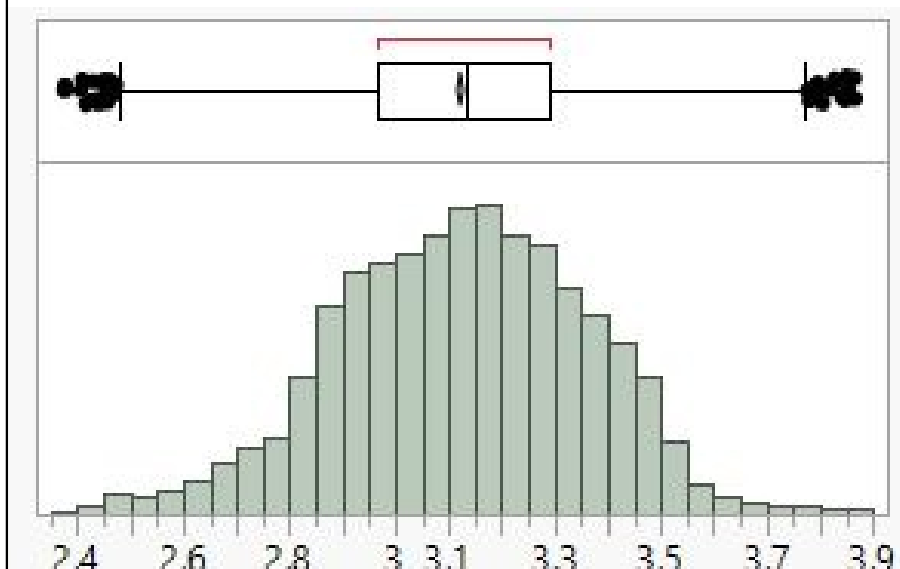


DIAGRAMA DE CAIXA (m²). RESOLUCIÓ 0,25 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

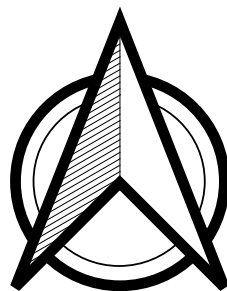
NÚMERO DE MAPA:
39 de 41

GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

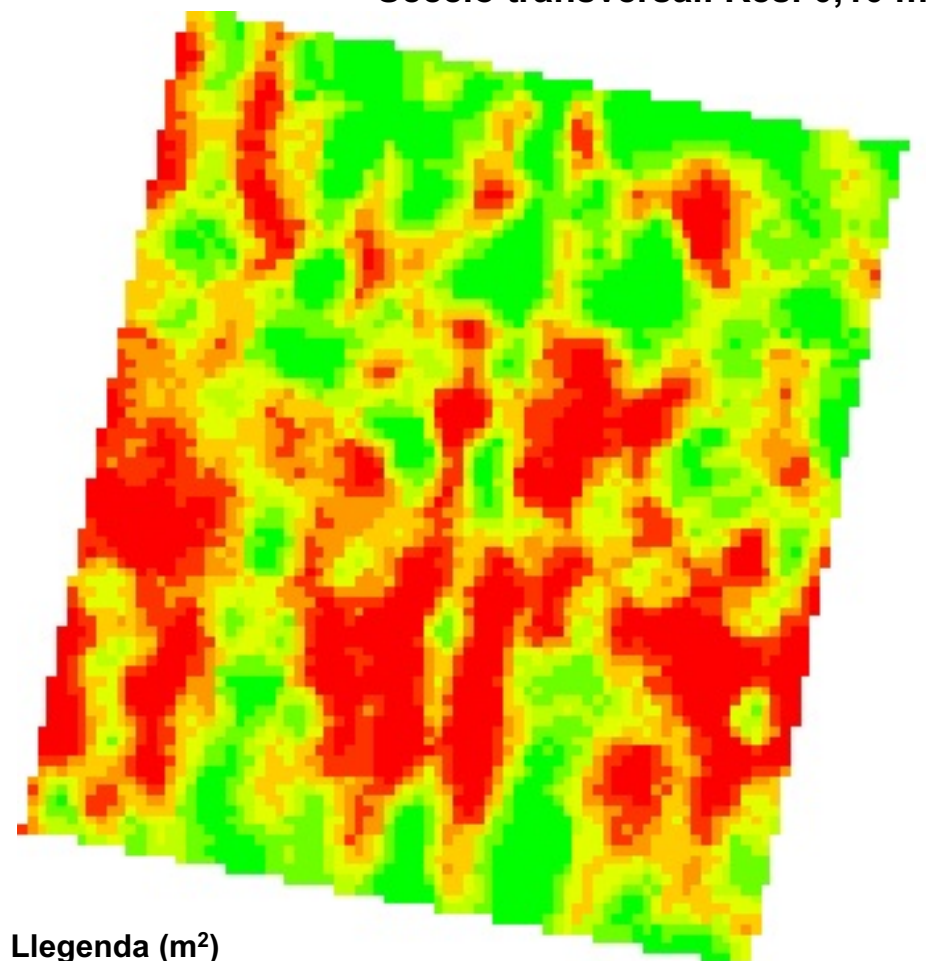
TÍTOL DEL PROJECTE:

Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

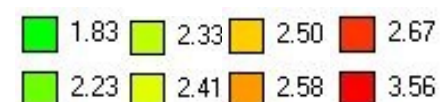
DATA:
Lleida, juny 2020



Secció transversal. Res. 0,10 m

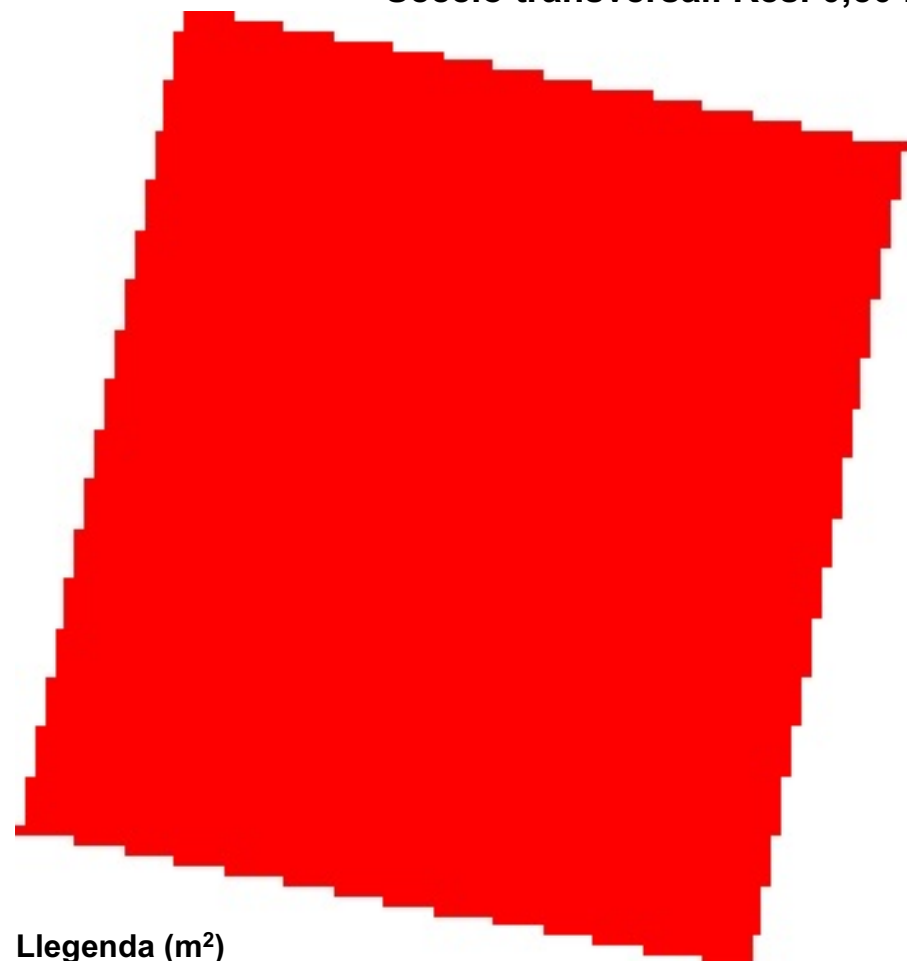


Llegenda (m²)

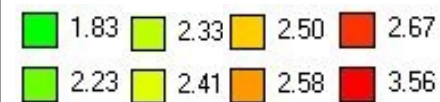


0 10 20 m

Secció transversal. Res. 0,50 m

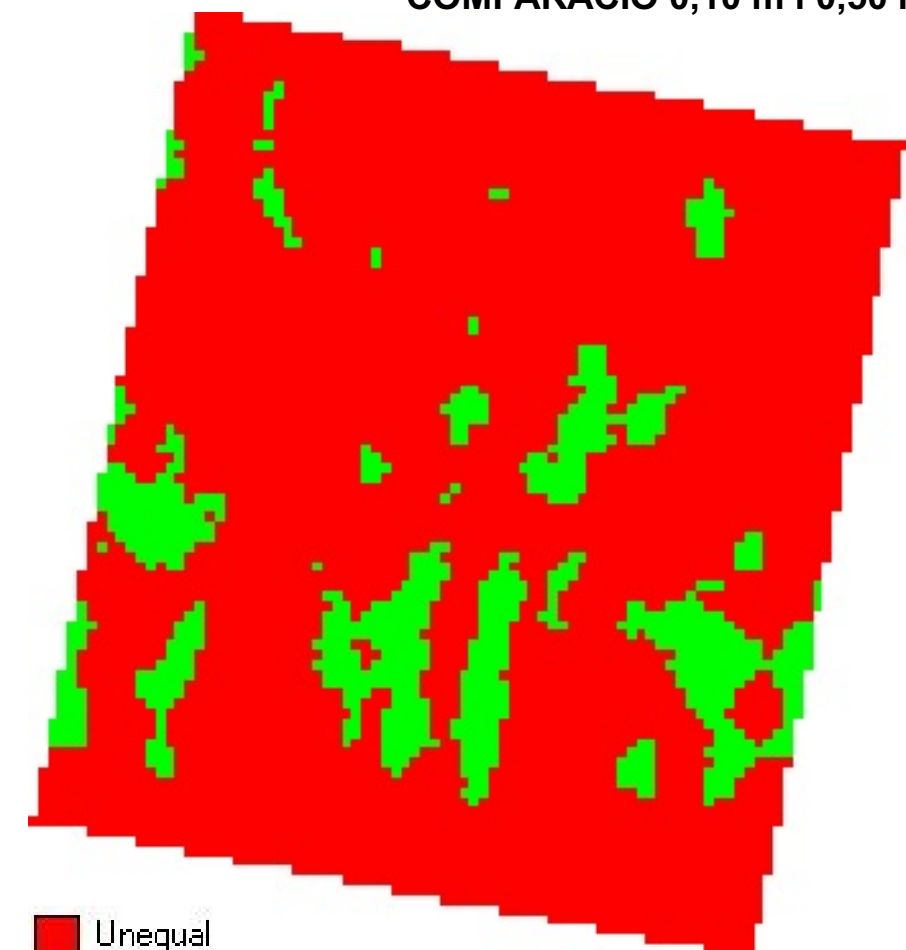


Llegenda (m²)



0 10 20 m

COMPARACIÓ 0,10 m i 0,50 m



0 10 20 m

DIAGRAMA DE CAIXA (m²). RESOLUCIÓ 0,10 m

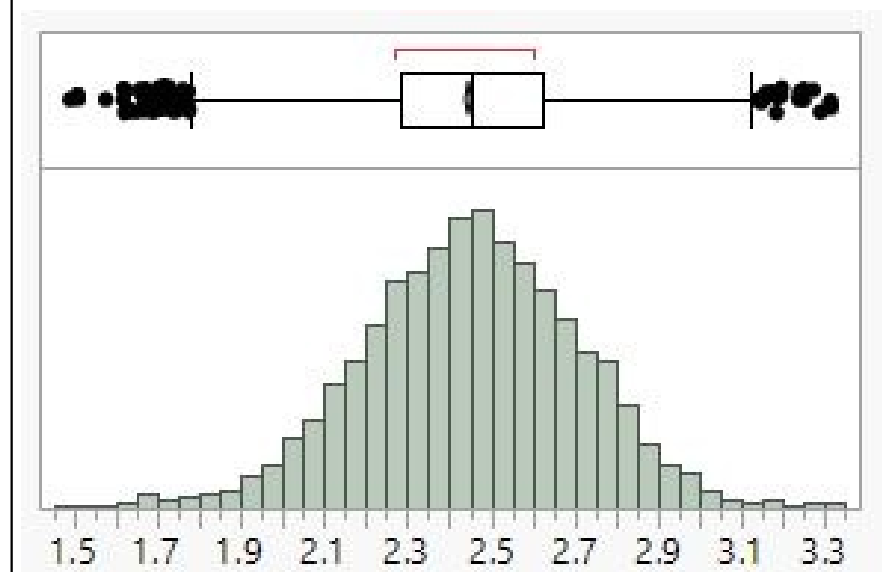
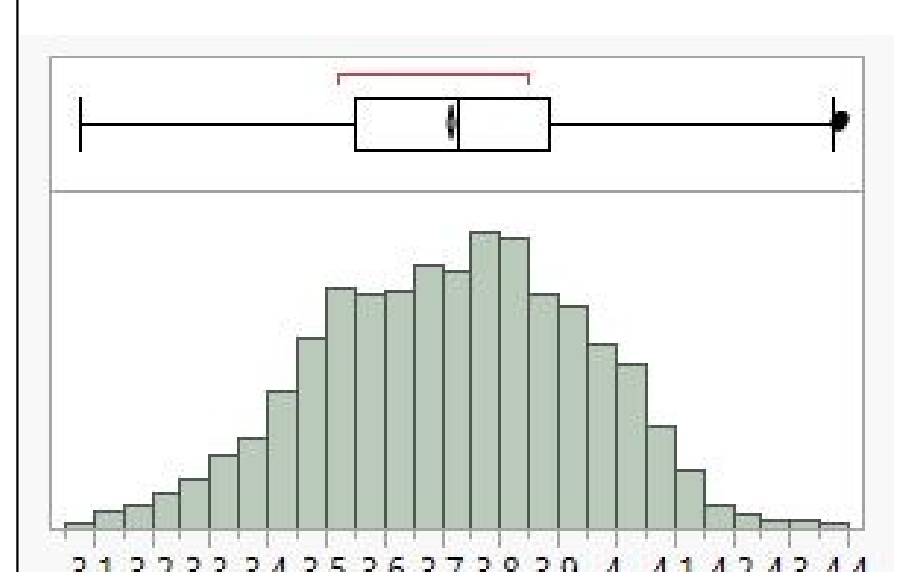


DIAGRAMA DE CAIXA (m²). RESOLUCIÓ 0,50 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
40 de 41

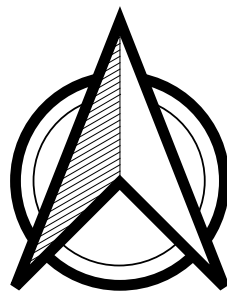
GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

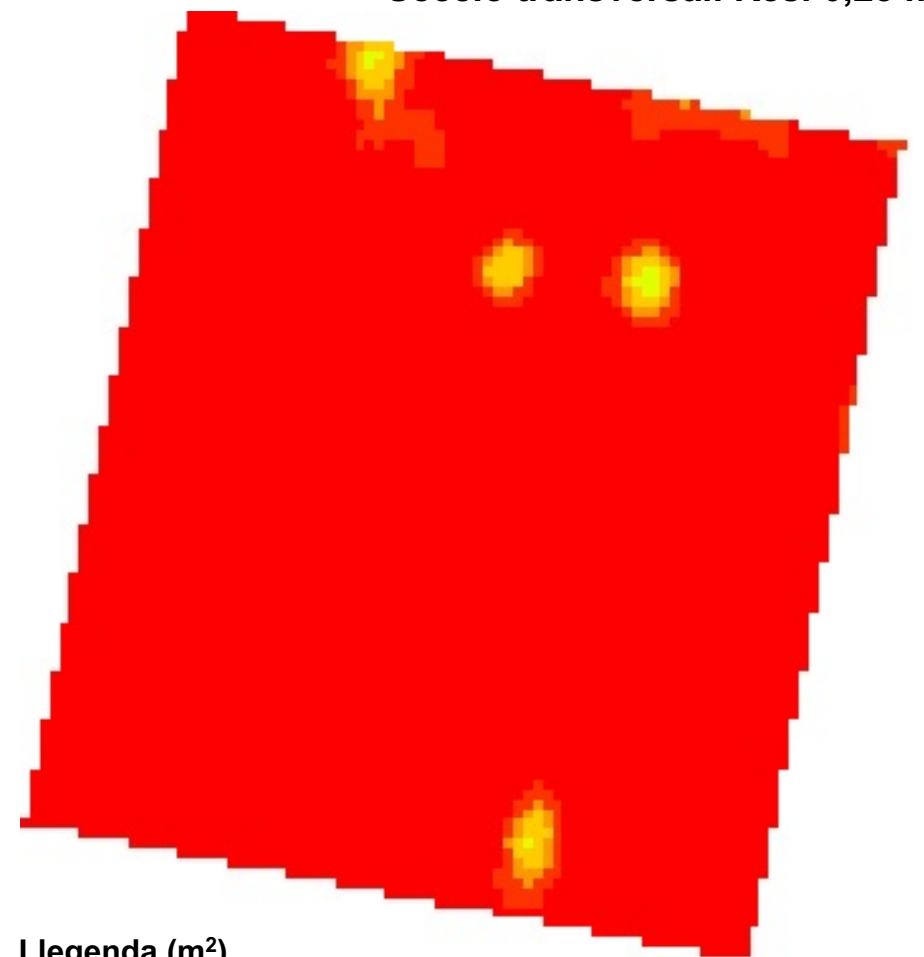
Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

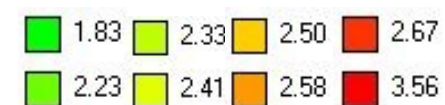
Lleida, juny 2020



Secció transversal. Res. 0,25 m



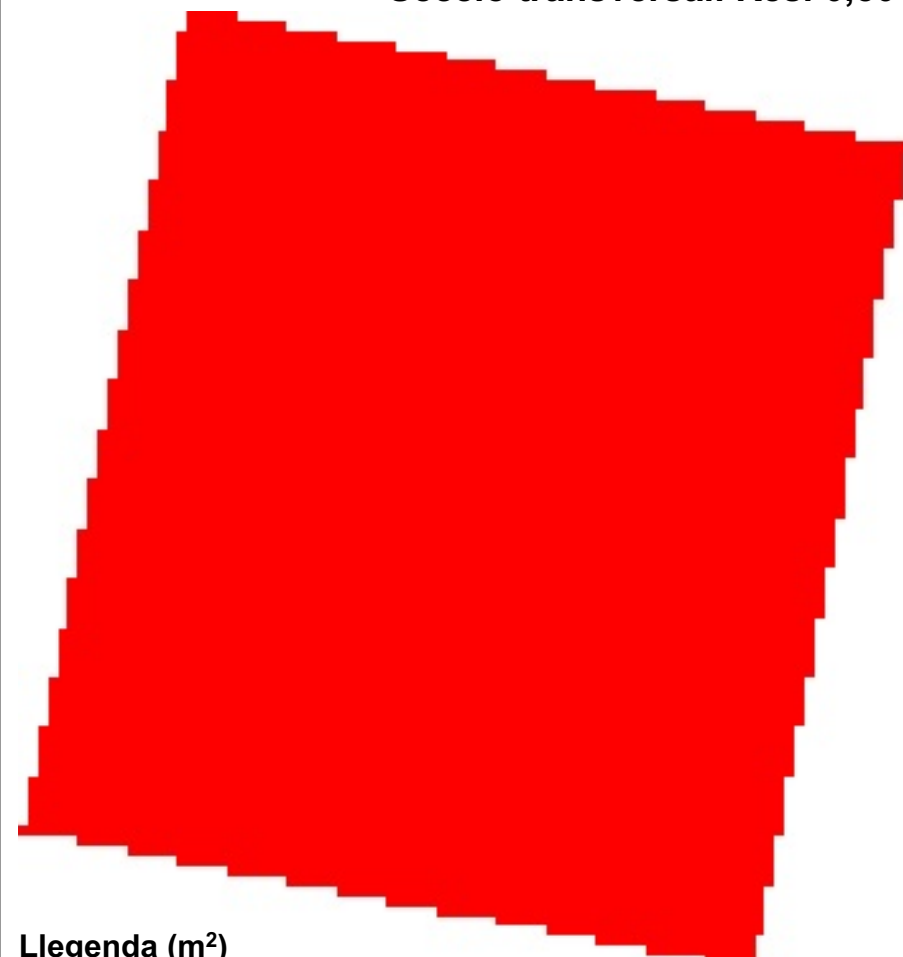
Llegenda (m²)



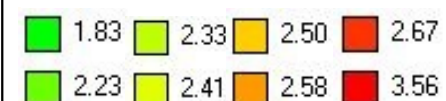
0 10 20 m



Secció transversal. Res. 0,50 m



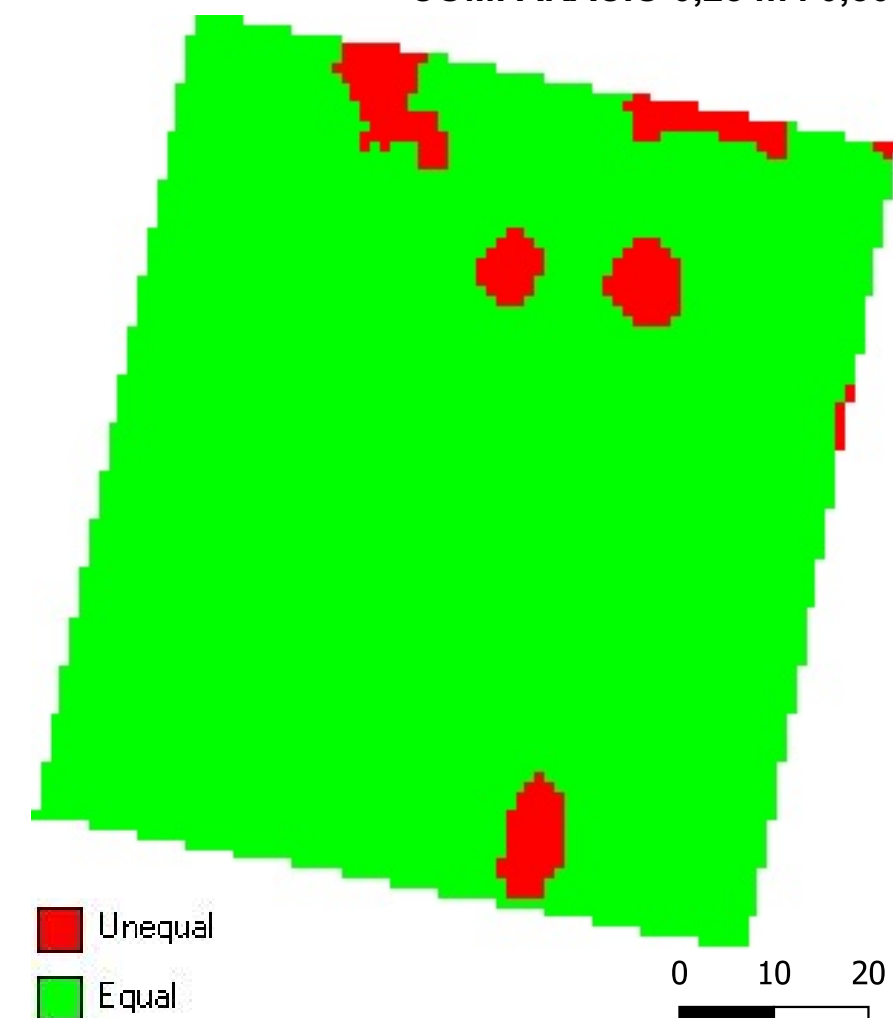
Llegenda (m²)



0 10 20 m



COMPARACIÓ 0,25 m i 0,50 m



Unequal

Equal

0 10 20 m



DIAGRAMA DE CAIXA (m²). RESOLUCIÓ 0,25 m

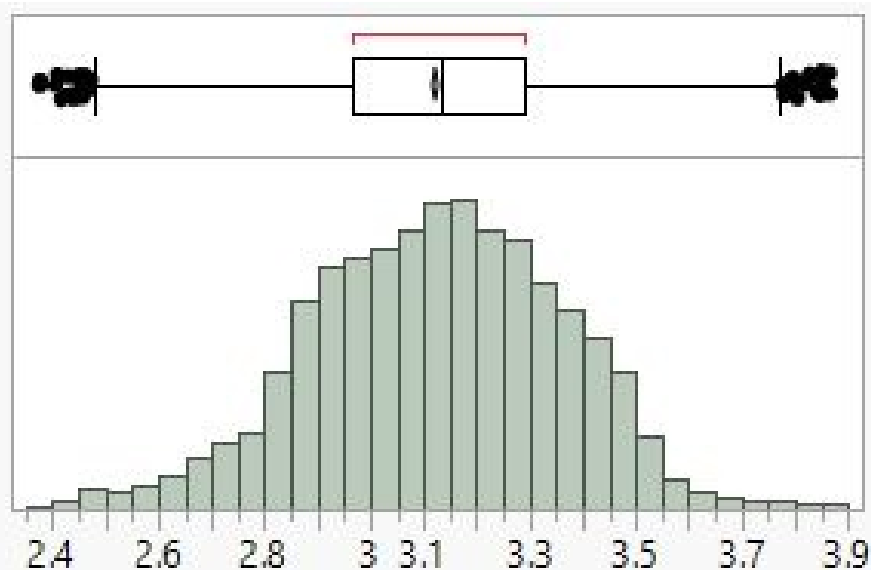
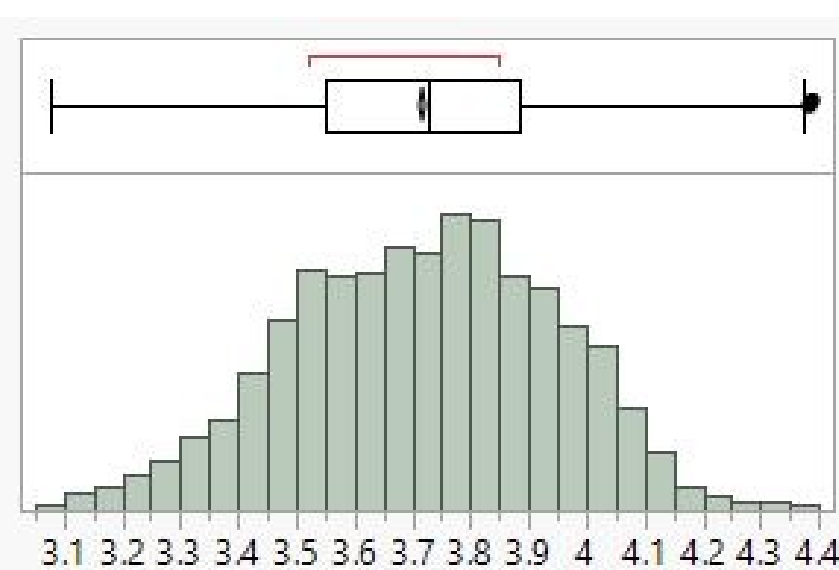


DIAGRAMA DE CAIXA (m²). RESOLUCIÓ 0,50 m



AUTOR:
HELENA CAMATS TERRÉ

NÚMERO DE MAPA:
41 de 41

GEOREFENCIACIÓ:
ETRS 89 31T UTM X: 288334,0 i Y: 4616087,0

TÍTOL DEL PROJECTE:

Fenotipatge mitjançant un sensor LiDAR terrestre d'una plantació d'ametllers sotmesa a un assaig experimental de fertirrigació.

DATA:

Lleida, juny 2020

8.3. Algorisme de *k*-mitjanes

L'algorisme de *k*-mitjanes segueix aquest procediment:

1. Es defineix la variable (mapa interpolat) i el nombre 'K' de classes (clústers).
2. S'assignen aleatòriament les 'n' observacions del mapa (píxels) als 'K' grups. De cadascun dels grups s'obté la mitjana o 'centre' del grup.
3. Es reassigna seqüencialment cada observació (píxel) al grup més proper utilitzant la distància euclídea entre les observacions (píxels) i els centres dels grups. En cada etapa es recalcula el centre del grup al qual s'afegeix l'observació i el centre del grup del qual s'elimina aquesta observació.
4. Es repeteix el pas anterior fins que no es produeixen més reassignacions.
5. Al final, cada observació (cel·la o píxel) només pot pertànyer a un únic grup (clúster) o classe.
6. La funció objectiu a minimitzar (cas de la classificació de la 'secció transversal') és l'anomenada Suma de Quadrats Dins els Grups (SQDG):

$$SQDG = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{n_k} (x_{ik} - x_k)^2; \quad K = 2, 3$$